Revue des
QUESTIONS SCIENTIFIQUES

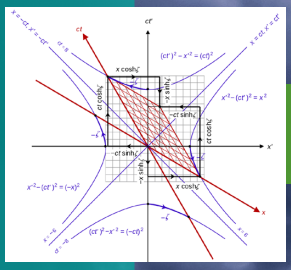
ISSN 0035-2160

Actualité, histoire et philosophie des sciences

Tome 193 - 2022 - N°1-2

Dieu, la science, les preuves - p. 7

À quatre mains… minimum ! - p. 49



Un point de vue néo-aristotélicien - p. 117

Bureau de dépôt : B 5310 Éghezée – Agréation n°P207124

RÉDACTEUR EN CHEF :

Jean-François Stoffel
Haute école Louvain-en-Hainaut – Domaine de la santé
Rue Trieu Kaisin, 136 – 6061 Montignies-sur-Sambre – Belgique
Courriel : stoffeljf@helha.be

GESTIONNAIRE ADMINISTRATIF :

Bertrand Hespel
Université de Namur
Rue de Bruxelles, 61
BE 5000 Namur
Courriel : administration.rqs@unamur.be

GESTIONNAIRE EDITORIAL :

Benoît Amez
Haute école Louvain-en-Hainaut
Rue Trieu Kaisin, 136
BE 6061 Montignies-sur-Sambre
Courriel : amezb@helha.be

WEBMASTER :

Loris Rossi
Courriel : loris.rossi@outlook.com
Haute école Louvain-en-Hainaut

SITE INTERNET :

http://www.rqs.be

ADMINISTRATEURS DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES :

**Jean-Pierre Antoine - Édouard Bouffioulx - Michel Crucifix - Guy Demortier (secrétaire général)
Pierre Devos (vice-président) - Bertrand Hespel - Dominique Lambert - Muriel Lepère
Vincent Ligot - Patricia Radelet-de Grave (présidente) - Jean-François Stoffel**

Fondée en 1877 par la Société scientifique de Bruxelles, *la Revue des questions scientifiques* est une publication périodique trimestrielle toujours publiée par ladite Société, avec le soutien du domaine de la santé de la Haute école Louvain-en-Hainaut et de l'Université de Namur. Pluridisciplinaire et francophone, elle est une revue de haute vulgarisation scientifique, consacrée aux sciences, y compris leur actualité, leur histoire, leur philosophie et leur impact sociétal. Elle est membre de l'Association des revues scientifiques et culturelles de Belgique. Tous les manuscrits reçus sont soumis à un comité de lecture constitué d'au minimum deux experts. En fin d'année, leur nom est publié dans la Revue.

La Revue est systématiquement dépouillée par le CISMeF, l'*Index Religiosus*, l'*Index Theologicus*, le *Répertoire bibliographique de la philosophie / International Philosophical Bibliography*.

© Tous les droits de reproduction, de traduction et d'adaptation sont réservés à la Société Scientifique de Bruxelles pour tous les pays.

Tome 193 2022

Revue des Questions Scientifiques

Actualité, histoire et philosophie des sciences

organe de la
Société scientifique de Bruxelles

publié avec le soutien du
Domaine de la santé de la
Haute école Louvain-en-Hainaut
et de
l'Espace philosophique de Namur
de l'Université de Namur

Table des matières

Dieu, la science, les preuves

Williams Dhelonga 7

La mort thermique de l'Univers, le Big Bang et le principe anthropique dans la science actuelle : discussion autour du livre « Dieu, la science, les preuves » [= The heat death of the Universe, the Big Bang and the Anthropic Principle in modern-day science : A discussion centered on the book *Dieu, la science, les preuves*]

Jean Dhombres 29

Qu'est-ce qui fait « scandale » ? Analyse très partielle de « Dieu, la science, les preuves » [= What is causing such a "scandal"? A limited analysis of "Dieu, la science, les preuves"]

Jean-Michel Maldamé 37

Pour un discernement sur le chemin de l'apologétique [= Furthering discernment along the path of apologetics]

À quatre mains… minimum !

Jean-Pierre Fréché 49

Des probabilités négatives ? [= Negative probabilities ?]

Astrid Modera 69

Qu'est-ce que le vivant ? Perspective relationnelle en biologie [= What is life? The relational perspective in biology]

Alice van Helden 95

Une interprétation relationnelle de la physique quantique [= A relational interpretation of quantum physics]

Article

Michel Bastit 117

Le mouvement et la Physique contemporaine : un point de vue néo-aristotélicien [= Motion and contemporary Physics : a Neo-Aristotelian perspective]

Varia

Jonathan Wenger 149

Un complément marginal à la bibliographie d'Alexandre Koyré (1924-2017) [= The addition of a marginal note to the bibliography of Alexandre Koyré (1924-2017)]

Analyses critiques

Andrea Bréard 157

« History of Science and Technology in China » : une histoire vue de l'intérieur de la Chine [= "History of Science and Technology in China" : taken from a Chinese perspective]

Maurice A. Finocchiaro 165

Copernic et Galilée en tant que lecteurs de Platon [= Copernicus and Galileo considered as readers of Plato]

Godofredo Iommi Amunátegui 179

Libres propos inspirés par une biographie d'Alexandre Koyré [= Various thoughts inspired by a biography of Alexandre Koyré]

Jean-Michel Maldamé 187

La quête de l'origine : approche phénoménologique [= In pursuit of the origin : a phenomenological approach]

Anne Tihon 197

La « sphère piétinée » : comment dessiner un astrolabe selon Nicéphore Grégoras et Isaac Argyre [= The "trampled sphere": How to draw an astrolabe according to Nicephore Gregoras and Isaac Argyre]

Comptes rendus

Histoire des sciences **203**

Dolan (Marion), *Decoding Astronomy in Art and Architecture* (Mourtaza Chopra & Philippe Debroise). Marchildon (Louis), *From Thales to Gravitational Waves : The Scientific Perspective* (Jean-René Roy). Nicole Oresme, *Questiones in Meteorologica de ultima lectura, recensio parisiensis : Study of the Manuscript Tradition and Critical Edition of Books I-II.10* (Jean Celeyrette). Vignaud (Laurent-Henri), *Histoire des sciences et des techniques : XVIe-XVIIIe siècle* (Daniel Špelda). De Angelis (Alessandro),

Les « Deux nouvelles sciences » de Galilée : une lecture moderne (William R. Shea). SHEA (William R.), *Ce que Galilée dit à Milton : dialogue entre le savant et le poète* (Jean-François Stoffel). CAMEROTA (Michele) - OTTAVIANI (Alessandro) - TRABUCCO (Oreste), *Lynceorum historia : le « Schede lincee » di Martin Fogel* (William R. Shea). NEWTON (Isaac), *The Mathematical Principles of Natural Philosophy* (Antoine Brandelet). *The Oxford Handbook of the History of Modern Cosmology* / edited by Helge KRAGH and Malcolm S. LONGAIR (Dominique Lambert). *Mathematical Communities in the Reconstruction After the Great War 1918-1928 : Trajectories and Institutions* / edited by Laurent MAZLIAK and Rossana TAZZIOLI (Jean Dhombres). ANDRIS (Jean) - ROMBOUTS (Jean-Jacques), *Une histoire de la Société belge d'orthopédie* (Nicole Schepens-Boisacq). BERT (Jean-François) - LAMY (Jérôme), *Voir les savoirs : lieux, objets et gestes de la science* (Godofredo Iommi Amunátegui).

Philosophie des sciences **228**

Interpreting Mach : Critical Essays / edited by John PRESTON (Stefano Bordoni).

Sciences et religions **230**

REISSE (Jacques), *Averroès, Copernic, Bruno et Galilée : raison, croyances et pouvoirs religieux* (Jean-François Stoffel).

Mathématiques **232**

MANIN (Yuri), *Les mathématiques comme métaphore : essais choisis* (Jean Dhombres). MEE (Nicholas), *Celestial Tapestry : The Warp and Weft of Art and Mathematics* (Fabien Buisseret).

Physique **236**

KOTKIN (Gleb L.) - SERBO (Valeryi G.), *Exploring Classical Mechanics: A Collection of 350+ Solved Problems for Students, Lecturers, and Researchers* (Nicolas Boulanger).

Sciences de l'ingénieur **238**

ASKELAND (Donald R.) - WRIGHT (Wendelin J.), *Science et génie des matériaux* (Marc Blétry). *Mathématiques pour les sciences de l'ingénieur : 120 fiches de cours, 120 exercices d'application, 580 exercices d'entraînement* / sous la direction de Frédéric BERTRAND, Myriam MAUMY-BERTRAND, Sandie FERRIGNO, Didier MARX, Aurélie MULLER-GUEUDIN et Yacoubou RABBA IDI (Jean-Baptiste Coulaud).

Biologie **242**

PETRIGNANI (Bianca) - CLAVARINO (Giovanna) - LEMAITRE (Bruno), *Immunologie-Exercices : qcm, questions de cours et problèmes résolus* (Louise-Marie Vincent).

Sciences de la Terre **244**

LÉVÊQUE (Christian), *Quelles rivières pour demain ? Réflexions sur l'écologie et la restauration des cours d'eau* (Jean-Claude Micha).

Sciences du vivant **245**

HERVÉ (Maxime), *Systématique animale d'Aristote aux phylogénies moléculaires : histoire, concepts et méthodes de la classification* (Pierre Devos).

Sciences paramédicales **246**

EL KHIARI (Isabelle), *Pour un patient au cœur du soin. Les méthodes complémentaires à l'hôpital : quand l'aromathérapie, la réflexologie ou la relaxation vient en appui de la chimie* (Nathalie Descheemacker & Anne-Marie Sautois). NANDA INTERNATIONAL (collectif de chercheurs), *Diagnostics infirmiers 2021-2023 : définitions et classification* (Cécile Gaillet).

Sciences de l'homme **250**

DEHAENE (Stanislas), *Face à face avec son cerveau* (Marie d'Udekem-Gevers). PESSIGLIONE (Mathias), *Les vacances de Momo Sapiens : notre cerveau, entre raison et déraison* (Albert Fox).

Ouvrages reçus à la rédaction 255

Revue des Questions Scientifiques, 2022, 193 (1-2) : 7-28

Dieu, la science, les preuves

La mort thermique de l'Univers, le Big Bang et le principe anthropique dans la science actuelle

Discussion autour du livre *Dieu, la science, les preuves*

Williams Dhelonga
Naxys
Département des mathématiques
Université de Namur
Williams.dhelonga@unamur.be

Résumé. – Le 13 octobre 2021, Michel-Yves Bolloré et Olivier Bonnassies publiaient leur livre *Dieu, la science, les preuves : l'aube d'une révolution* en vue d'apporter de nouvelles preuves de l'existence de Dieu fondées sur les récentes découvertes scientifiques. Selon les auteurs, la science a, les quatre derniers siècles, prétendu expliquer le monde sans avoir besoin d'un Dieu créateur. Aujourd'hui, elle leur semble plutôt une alliée de Dieu. Pour cela, ils s'appuient sur les cinq découvertes scientifiques révolutionnaires modernes dont quatre en physique et en cosmologie — la mort thermique de l'Univers, la théorie de la relativité, le Big Bang, le réglage fin de l'Univers, la biologie (Bolloré & Bonnassies, 2021, pp. 19-20) — pour prouver l'existence de Dieu. Dans cet article, nous discutons, à la lumière de la science actuelle, les affirmations et les présupposés utilisés dans le cadre de l'argumentation développée par ces auteurs. Nous portons notre attention spécifique sur les trois concepts physiques et cosmologiques utilisés : la mort thermique de l'Univers, le Big Bang et le Principe anthropique. Il en ressort que leurs propos sont à nuancer.

Abstract. – On 13 October 2021, Michel-Yves Bolloré and Olivier Bonnassies published their book entitled *Dieu, la science, les preuves : l'aube d'une révolution* [God, Science, Evidence : the dawn of a revolution] with a view to providing fresh evidence for the existence of God based on recent scientific discoveries. The authors maintain that scientists have been claiming to explain the world for the last four centuries without feeling the need to turn to God

the Creator. Nowadays, however, they consider our world to exist in alliance with God. This line of thought relies on five modern revolutionary scientific discoveries, four of which are in the fields of physics and cosmology — the heat death of the Universe, the theory of relativity, the Big Bang, the fine-tuned universe and biology (Bolloré & Bonnassies, 2021, pp. 19-20) — in order to prove the existence of God. In this article, we discuss, in the light of contemporary science, the assertions and assumptions employed by these authors in order to develop their line of reasoning. We specifically focus on three of the physical and cosmological concepts that they applied : the heat death of the Universe, the Big Bang and the Anthropic Principle. Our discussion brings to light the fact that their statements require further qualification.

Mots-clés. – Bolloré, Michel-Yves — Bonnassies, Olivier — Cosmologie et relativité générale — Mort thermique de l'Univers — Singularité initiale — Principe anthropique

Plan de l'article

1. Introduction
2. De la mort thermique de l'Univers en physique classique
   2.1. Brève conclusion
3. Du modèle du Big Bang
   3.1. La cosmologie physique, une science particulière
   3.2. Le modèle du Big Bang
      3.2.1. Différents types d'Univers et leurs destins
      3.2.2. La singularité initiale, un point faible du modèle du Big Bang
      3.2.3. Les autres points faibles du modèle
      3.2.4. Brève conclusion
4. De la mort thermique de l'Univers en relativité générale et en cosmologie
5. Le principe anthropique
6. Conclusion

1. Introduction

En janvier 2022, le livre *Dieu, la science, les preuves* dépasse la barre de 100 000 ventes en moins de 3 mois depuis sa sortie en octobre 2021 (Agence France-Presse, 2022, paragr. 2). L'ouvrage aspire à « rassembler en un même volume l'état le plus à jour des connaissances rationnelles relatives à la possible existence d'un dieu créateur » (Bolloré & Bonnassies, 2021, p. 27). La science est le terrain de connaissances que les auteurs se sont choisi pour mener ce projet. Il va sans dire que ce livre est aux yeux de plusieurs commentateurs très controversé et suscite bon nombre de questions. Celle qui nous préoccupe ici est de savoir si les affirmations et les présupposés utilisés dans le cadre de l'argumentation développée dans ce livre sont réellement établis par la science actuelle, plus précisément en physique classique et en cosmologie. L'objectif que nous nous assignons dans les lignes qui vont suivre va consister, sous forme

d'une discussion, à confirmer, nuancer ou clarifier les propos qui auront retenu notre attention. Nous restreindrons notre champ d'évaluation aux trois concepts cosmologiques abordés par ledit livre : « la mort thermique de l'Univers », le « Big Bang » et le « Principe anthropique ». Pour raison de clarté, nous aborderons sous deux approches le concept de mort thermique de l'Univers. Premièrement, nous l'aborderons à la lumière de la physique classique, puis, un peu plus loin, après avoir parlé de la cosmologie et du Big Bang, sous l'éclairage de la relativité générale.

2. De la mort thermique de l'Univers en physique classique

Dans le chapitre 4 de leur livre, Michel-Yves Bolloré et Olivier Bonnassies (2021, pp. 55-56) parlent de la mort thermique de l'Univers comme une preuve que l'Univers a eu aussi un début. L'image employée dès le début du chapitre est celle d'un feu qui brûle dans la cheminée et qui finit par s'éteindre faute de bûches. Ces bûches, ajoutent les auteurs, ne brûlent pas depuis toujours ; quelqu'un a dû les charger. L'image utilisée représente l'Univers qui se consume petit à petit jusqu'à son extinction totale. Pour soutenir scientifiquement leurs propos, voici, en résumé, ce qu'affirment les auteurs :

1. Soumis aux lois de la thermodynamique, l'Univers est appelé à se consumer en un temps fini et donc il ne se consume pas depuis toujours (Bolloré & Bonnassies, 2021, pp. 55-56).

2. L'Univers, étant un système clos, ne pourra jamais revenir à son état initial (Bolloré & Bonnassies, 2021, p. 58 et p. 61).

3. Le second principe de la thermodynamique contredit toutes les visions cycliques du monde (Bolloré & Bonnassies, 2021, p. 60).

4. Avec les mathématiques statistiques, il est d'ailleurs possible de démontrer que la probabilité d'un retour en arrière est infiniment faible (Bolloré & Bonnassies, 2021, p. 65).

Cette argumentation est-elle en harmonie avec la physique classique ? Il nous semble bon de mener la discussion en replaçant les différents concepts employés dans leur contexte scientifique pour bien cerner leurs significations et ainsi apprécier à leur juste valeur les propos des auteurs.

Le second principe de la thermodynamique, évoqué dans le cadre de la mort thermique de l'Univers, a connu plusieurs formulations successives qui

se sont précisées dans le temps sans se contredire. En 1824, Carnot énonce la première formulation de ce principe :

> « La chaleur s'écoule spontanément d'un corps de haute température à un corps de basse température. D'elle-même, la chaleur ne s'écoule jamais d'un corps froid à un corps chaud » (Hecht, 2013, p. 625).

Il s'en est suivi, en 1865, une autre formulation de la part de Rudolf Julius Emmanuel Clausius qui affirme :

> « Aucun processus n'est possible si son résultat unique est le transfert d'une quantité d'énergie thermique d'un corps à basse température vers un corps dont la température est plus élevée » (Hecht, 2013, p. 626).

Il y ajoute une autre basée sur l'entropie qui stipule :

> « Tout changement d'un système isolé, passant d'un état à un autre, est tel que son entropie augmente ou, au mieux, ne change pas » (Hecht, 2013, p. 628).

Le mot entropie a été introduit par ce dernier à partir d'un mot grec qui signifie transformation (Hecht, 2013, p. 628).

Cette dernière formulation, fondée sur l'entropie, montre le caractère réversible ou irréversible de certaines transformations. Le concept permet de distinguer le caractère de conservation et de réversibilité ou irréversibilité de l'énergie. À titre illustratif, l'énergie totale d'un bois qui brûle est conservée tout en se dissipant sous diverses formes : chaleur, luminosité, sons, etc. Par contre, on ne constate pas le mouvement inverse où ces énergies, jointes avec les cendres du bois brûlé, vont revenir à l'état initial de bois. La transformation semble bien irréversible. Cet état de la dispersion de l'énergie et de la dégradation d'un système caractérise l'entropie.

Les trois formulations ci-dessus montrent bien, de par l'observation et l'expérience, que l'écoulement de la chaleur ou la dégradation d'un système ne se déroulent que dans un sens. L'écoulement spontané de la chaleur dans le sens inverse ou la transformation opposée et spontanée à la dégradation d'un système n'ont jamais été observés. En ce sens, le second principe de la thermodynamique « [...] définit la direction du déroulement des événements, c'est-à-dire la progression des processus. Le second principe indique la flèche du temps dans la direction du futur... Le temps s'arrête quand aucun évènement n'a lieu, quand rien n'arrive » (Hecht, 2013, p. 632).

L'Univers pris dans sa totalité, sans aucune extériorité et au vu des transformations qui se produisent en son sein, voit son entropie augmenter ou, au mieux, ne pas changer en conformité avec la dernière formulation du second principe de la thermodynamique.

Qu'en est-il de l'augmentation de l'entropie et de son caractère fini ? En d'autres mots, l'Univers est-il appelé à se consumer en un temps fini ?

Pour bien répondre à cette question, il importe de voir ce qui se passe au niveau atomique dans un système dont l'entropie augmente. Une feuille de papier est constituée d'un agencement ordonné d'atomes. Si on brûle la feuille, l'ordre se brise, une partie des atomes se libèrent de leurs liens en remplissant l'espace de manière désordonnée dans un mouvement incessant et aléatoire. Le désordre des particules caractérisé par l'éparpillement de ces dernières dans l'atmosphère se manifeste, à la fois, par leurs distances et leurs vitesses les unes par rapport aux autres (Hecht, 2013, p. 631). Plus ces valeurs sont grandes, plus le désordre est élevé. Ainsi, l'entropie d'un gaz est plus élevée que celle d'un cristal. De même, un gaz passant d'un volume plus petit vers un volume plus grand voit son entropie augmenter. C'est la tendance que possède l'énergie à s'homogénéiser, à se répartir également dans l'espace.

Sans anticiper l'approche cosmologique de la question, l'Univers considéré comme un gaz a connu trois phases d'expansion. Une première phase très brève d'expansion accélérée exponentielle de moins de 10^{-35} seconde, puis une phase décélérée et enfin, il y a environ 6.097 milliards d'années, l'expansion de l'Univers a recommencé à accélérer (Particle data group, 2021, p. 2). En 1998, les physiciens s'attendaient à constater un Univers en décélération. Grande a été leur surprise de constater l'inverse (Barrau & Grain, p. 128). La matière noire et l'énergie noire ont été postulées comme explications plausibles à ce phénomène. L'Univers sera-t-il en expansion continuellement ? La cosmologie ne peut l'affirmer avec certitude. Le seul fait actuellement admis est que l'Univers a de fortes chances d'être plat avec un paramètre de courbure compris dans l'intervalle de confiance suivant : $-0{,}0012 \leq \Omega_k \leq 0{,}0026$ (Particle data group, 2021, p. 2) et qu'il est en expansion accélérée.

L'Univers dans sa totalité et sans extériorité pris comme un gaz en expansion voit son entropie augmenter nécessairement. Tant que celui-ci sera en expansion, son entropie augmentera ou, autrement dit, l'Univers tendra asymptotiquement vers sa mort thermique. Combien de temps cela durera-t-il ? On ne peut le dire avec certitude. Il existe certes divers scénarii, mais on ne peut prédire avec certitude celui qui l'emportera. Bref, ce qui est établi en science

est l'augmentation de l'entropie de l'Univers. Ce qui ne l'est pas est la mort thermique de l'Univers.

Qu'en est-il de l'affirmation que l'Univers ne pourra jamais revenir à son état initial ?

Cette question a un volet cosmologique. Nous l'aborderons plus loin. La formulation probabiliste de l'entropie, présentée par Boltzmann en 1878 comme une mesure du désordre de l'Univers à l'échelle atomique, permet d'aborder la question. Dans cette formulation, l'entropie maximale correspond à un état qui a la probabilité maximale de se produire. Si l'on dénombre le nombre d'états possibles (ici, les liaisons possibles entre les atomes ; la non-liaison étant comptée) dans lequel les atomes d'un système (feuille de papier, cristal, etc.) peuvent se trouver, on peut déduire la probabilité qu'un état se manifeste. Par exemple, la configuration cristalline possède une probabilité faible de se réaliser et donc une entropie minimale par rapport aux mêmes constituants à l'état gazeux. En d'autres termes, la probabilité que les atomes puissent se lier pour former un cristal est très faible. Par contre, les atomes libres, distants et en mouvements désordonnés provenant du cristal possèdent une probabilité plus grande et cet état correspond à une entropie maximale.

Plus concrètement, si vous jetez un dé non pipé, vous avez 1 chance sur 6 d'avoir la face 6 en haut. Si vous jetez en même temps 6 dés, vous aurez une chance sur 46 656 possibilités que toutes les faces supérieures soient 6. Un tel événement a 0,00214 % de chances de se produire. Cela ne veut pas dire qu'il ne se produirait jamais. Par contre, l'événement faisant apparaître des chiffres dont la somme fait 21 a l'occurrence maximale de se produire, soit 4332 fois sur 46656. Cela conduit à une probabilité de 9,28498 % de se produire. Appliqué à l'Univers, la probabilité d'un retour en arrière est infiniment faible comme l'affirment les auteurs. Mais cette probabilité n'est pas nulle. Strictement parlant, on ne peut affirmer à la fois que l'Univers ne pourra jamais revenir à son état initial et que la probabilité d'un retour en arrière est infiniment faible (Bolloré & Bonnassies, 2021, p. 65). En effet, un évènement infiniment faible peut quand même se produire d'autant plus qu'il aura toute « l'éternité » pour se produire.

Le débat avec le mathématicien Ernst Zermelo — qui a, en 1896, fait remarquer que le second principe de la thermodynamique était en contradiction avec le théorème de Poincaré qui énonce que, tout système mécanique isolé retournera à un moment ou un autre à son état initial ou infiniment proche de celui-ci — pousse Boltzmann vers une autre vision de l'univers que celle de la mort thermique de l'Univers (Kragh, 2004, pp. 66-69).

On lit ceci :

> « In one of his replies of 1897 to Zermelo, Boltzmann stated that his mechanical explanation of the second law depended on the ("of course unprovable") assumption that the universe started from a very improbable, low-entropic state and is still in a relatively improbable state far from the heat death — after all, life exists. He offered two ways to understand the assumption. According to the first scenario, our world is a representative sample of the entire, low-entropy universe. The other was a scenario of entropy fluctuations in an otherwise high-entropic universe. "There must then be in the universe, which is in thermal equilibrium as a whole and therefore dead, here and there relatively small regions of the size of our galaxy (which we call worlds), which during the relatively short time of eons deviate significantly from thermal equilibrium." Boltzmann preferred the second viewpoint because it promised an understanding of "the second law and the heat death of each individual world without invoking a unidirectional change of the entire universe from a definite initial state to a final state » (Kragh, 2004, pp. 68-69).

Boltzmann confirme cette vision de choses dans son interprétation statistique du second principe de la thermodynamique :

> « The problem was clarified by Ludwig Boltzmann, who showed that the laws of thermodynamics were statistical in character, what is more only over a long time scale. Even if the universe were to reach a state of thermodynamic death, statistical fluctuations could displace it from that state » (Heller, 2009, p. 26).

L'affirmation selon laquelle le second principe de la thermodynamique contredit toutes les visions du monde cycliques n'est pas établie.

2.1. Brève conclusion

En physique classique et en conformité avec le deuxième principe de la thermodynamique, l'entropie de l'Univers augmente et en ce sens, il est vrai qu'il se consume.

Combien de temps cela pourrait prendre ? Aucune certitude n'est de mise aujourd'hui. Tant que l'univers sera en expansion, l'entropie de l'Univers augmentera. En d'autres termes, l'Univers tendra asymptotiquement vers sa mort thermique. En ce sens, la mort thermique en un temps fini de l'Univers n'est pas établie.

La formulation probabiliste de l'entropie n'exclut pas une vision cyclique de l'Univers. Même s'il atteignait un état de mort thermique, le retour vers son état initial n'est pas exclu, car il possède une probabilité très faible, mais non nulle, de se produire.

Il n'est pas suffisant de se contenter de parler de la mort thermique de l'Univers en un temps fini ou d'un possible Univers cyclique en physique classique. Étant donné la nature relativiste de l'Univers, il est bon de compléter l'approche du sujet dans le cadre de la relativité générale et de la cosmologie physique. Dans les lignes qui suivent, nous introduirons succinctement ces deux concepts. Nous reviendrons sur la mort thermique et l'Univers cyclique après avoir parlé du modèle du Big Bang.

3. Du modèle du Big Bang

3.1. La cosmologie physique, une science particulière

En 1915, la théorie de la relativité générale est énoncée par Einstein. Elle généralise la relativité restreinte et la théorie relativiste de la gravitation et sert de cadre naturel pour la cosmologie. Dans cette théorie, la gravitation n'est pas une force, mais une manifestation de la courbure de la variété spatio-temporelle produite par la distribution de l'énergie sous la forme de la masse et d'énergie cinétique.

La cosmologie physique se définit comme la description de l'Univers, pris comme une totalité matérielle, à partir des équations d'Einstein de la relativité générale. Les solutions de ces équations donnent une idée de la géométrie et de l'évolution temporelle de l'Univers (Lambert, 1999, pp. 142-143).

Avec Jean Philippe Uzan (2010, pp. 203-204), Aurélien Barrau et Julien Grain (2011, pp. 107-108), on peut relever quelques aspects singuliers propres à la cosmologie. Le premier aspect est l'objet de l'étude : l'Univers. Celui-ci est un objet d'étude unique et il n'est pas possible de le comparer à un autre ; ceci reste vrai même s'il arrivait à l'homme d'observer tout l'Univers. Aucune comparaison n'est possible.

Le deuxième aspect est que l'observateur fait partie du système qu'il tente de décrire. Les protocoles scientifiques exigent une certaine distanciation autant que possible par rapport à l'objet de l'étude. Ce qui n'est pas le cas avec la cosmologie. Il n'y a pas d'extériorité possible à l'Univers.

Le troisième aspect est qu'on ne peut observer que les événements et les objets suffisamment proches pour que leur lumière ait eu le temps de nous parvenir ; les raisons de cette limitation sont la vitesse limite de la lumière et l'étendue de l'Univers. L'avantage est la possibilité d'observer le passé de l'Univers. Par contre il est impossible d'observer la situation actuelle de l'Univers à des distances très élevées.

Le quatrième aspect est l'irreproductibilité de l'Univers. On ne peut reproduire l'Univers en laboratoire. Il n'est donc pas possible de distinguer nécessité et contingence dans les lois qui régissent l'univers.

Ces caractéristiques singulières de la cosmologie n'ont pas que des avantages. Elles doivent être prises en compte dans tout discours cosmologique, et donc dans tout discours sur l'Univers. Ainsi, un résultat d'expérience en laboratoire et une théorie sur les trous noirs ne sont pas des discours de même portée.

Toutefois, malgré ces singularités, la cosmologie physique se trouve confortée par la confirmation de ses prédictions. Trois observations fondamentales appuient ainsi la valeur scientifique de la cosmologie. La première est la loi de Hubble. Celle-ci confirme l'expansion de l'Univers. On observe que les galaxies s'éloignent les unes des autres, et ceci est tout à fait en accord avec le modèle du Big Bang.

La deuxième observation est le fond diffus cosmologique. 380 000 ans environ après son état infiniment chaud et dense, l'Univers est devenu suffisamment froid pour que la matière et la lumière se découplent. Aujourd'hui, on a mis en évidence que l'Univers baigne dans un rayonnement résiduel à 2,7° K homogène et isotrope, relique portant les traces de cette époque.

La troisième observation en accord avec le modèle est la nucléosynthèse primordiale. Grâce à la physique nucléaire, l'on calcule avec précision la quantité et la répartition des éléments chimiques synthétisés dans l'Univers primordial.

3.2. Le modèle du Big Bang

Dans le chapitre 5, Michel-Yves Bolloré et Olivier Bonnassies font une série d'affirmations concernant le modèle cosmologique du Big Bang. Voici en résumé celles qui ont retenu notre attention :

1. D'après Georges Lemaître, l'atome primitif serait survenu tout d'un coup avant de commencer à se désintégrer (Bolloré & Bonnassies, 2021, p. 81).

2. Les échecs des autres théories alternatives en cosmologie ne font que confirmer la grande solidité du modèle classique du Big Bang (Bolloré & Bonnassies, 2021, p. 88).

3. Le Big Bang s'est produit à un instant très petit que les physiciens appellent l'instant de Planck… Ni le temps, ni l'espace, ni la matière ordinaire tels que nous les connaissons n'existaient alors pas. Ils ajoutent que là se trouvent les raisons pour lesquelles les lois de la physique ordinaire ne permettent pas de décrire l'instant 0 (Bolloré & Bonnassies, 2021, p. 91).

4. Le modèle standard décrit de manière très précise un Univers qui n'est pas éternel dans le passé, mais vient au contraire à l'existence dans un passé fini. L'origine de l'Univers postulé par le modèle de Big bang est une origine absolue. La matière, l'énergie, le temps et l'espace sont venus à l'existence à l'instant de cette singularité cosmologique initiale (Bolloré & Bonnassies, 2021, p. 98).

5. Le commencement absolu de l'Univers apparaît comme un point de jonction entre la physique et la cause créatrice, extérieur à l'Univers (Bolloré & Bonnassies, 2021, p. 99).

Qu'est-ce qu'un modèle cosmologique ?

Un modèle cosmologique est une représentation idéalisée de l'Univers qui se fonde sur nos connaissances en relativité générale et les observations astronomiques (Uzan, 2010, p. 203). Le Big Bang, ou plus précisément la famille de modèles du Big Bang, décrit l'histoire de l'Univers et sa structuration à partir d'un état chaud et dense. Elle est construite en considérant celui-ci comme un gaz parfait dont les galaxies sont les éléments constitutifs (Andrillat, 1970, p. 111). Certains modèles partent d'un univers de poussières ou d'énergies.

Le modèle du Big Bang comme la plupart de modèles d'Univers est fondé sur le principe cosmologique suivant lequel l'Univers est homogène et isotrope à grande échelle. L'hypothèse d'homogénéité de l'espace énonce que les propriétés générales de l'Univers, considéré à grande échelle, sont les mêmes, quel que soit le point de l'espace d'où on les observe. L'hypothèse d'isotropie de l'espace établit que les propriétés générales de l'Univers ne dépendent pas de la direction dans laquelle on les observe. Le principe cosmologique peut être vu comme une tentative de généralisation à l'Univers dans sa totalité du point de vue copernicien où ni l'homme ni aucun observateur n'occupe de place privilégiée dans celui-ci (Nottale, 1995, p. 148).

3.2.1. Différents types d'Univers et leurs destins

L'analyse de la dynamique des équations de Friedmann-Lemaître qui ont servi à l'élaboration du modèle de Big Bang montre qu'elles peuvent donner lieu à trois géométries possibles de l'Univers. Un Univers elliptique. Un tel Univers serait fermé et ressemblerait par analogie à une sphère en deux dimensions. Cet Univers serait infini tout en étant le bord d'un volume fini. Les deux autres sont : l'Univers hyperbolique et l'Univers plat ou euclidien. Ces deux derniers Univers sont des Univers ouverts.

Les destins respectifs de tels Univers peuvent changer en rapport avec la constante cosmologique et son contenu matériel ou sous forme de rayonnement. Dans la limite newtonienne, la constante cosmologique agit dans l'équation d'Einstein comme une densité d'énergie négative même dans un modèle d'Univers vide. Elle créerait un champ gravitationnel répulsif (Moore, 2014, p. 248). Elle fut introduite dans les équations de la dynamique de l'Univers par Einstein qui pensait qu'un petit terme répulsif pouvait annuler l'attraction gravitationnelle des étoiles et des galaxies entre elles et pourrait autoriser un Univers statique. Einstein la révoqua, car malgré sa présence, il obtenait un Univers dynamique. Elle fut réintroduite après la surprenante découverte en 1998 par des astrophysiciens que l'expansion de l'Univers semble s'accélérer avec le temps comme si un champ gravitationnel répulsif agissait.

Ainsi, un Univers vide, de courbure nulle sans constante cosmologique conduirait vers un Univers en expansion. Lorsque le temps tendrait vers l'infini, l'Univers cesserait son expansion sans passer à l'étape d'une contraction.

Un Univers vide sans constante cosmologique, mais de courbure positive, c.-à-d. un Univers fermé, passerait par une phase d'expansion jusqu'au facteur d'échelle maximum (un rayon maximal par analogie sur une sphère 2), puis serait suivi par une phase de contraction. Si l'on considère les mêmes conditions avec un Univers hyperbolique, un tel Univers serait en expansion *ad vitam aeternam* sans ralentissement possible.

Une constante cosmologique négative jouerait le rôle d'un champ gravitationnel attractif. Dans un Univers fermé avec du contenu, elle contribuerait à stopper l'expansion de l'Univers. La gravitation l'emporterait sur l'expansion. Dans un Univers ouvert, la courbure nulle ou négative favoriserait l'expansion de l'Univers. Mais à la limite lorsque le temps va tendre vers l'infini, la constante cosmologique négative prendrait le dessus et contribuerait à stopper l'expansion de l'Univers pour le contracter ensuite.

Une constante cosmologique positive, jouant le rôle d'un champ gravitationnel répulsif, contribuerait à l'expansion dans un Univers ouvert non vide : plat et hyperbolique. Dans un tel Univers, l'expansion perdurerait *ad vitam aeternam*. Dans un Univers fermé, la situation serait plus complexe. Tout dépendrait des valeurs de la courbure et de la constante cosmologique. Si la courbure est plus grande que la constante cosmologique, la recontraction aurait lieu avant que la constante cosmologique domine. Par contre si c'est la constante cosmologique qui domine, elle pourrait prendre le dessus rapidement et définitivement.

Parmi les modèles cosmologiques avec constante cosmologique, il en existe qui n'ont pas de point singulier, mais un rayon minimum lors de sa recontraction ou encore d'autres qui oscillent entre deux valeurs de rayons (Nottale, 1995, p. 155).

Qu'en est-il de l'Univers observable ?

À l'heure actuelle, aucune des trois géométries possibles n'est empiriquement exclue (Barrau & Grain, 2011, p. 122). La constante cosmologique est positive et domine sur la matière. L'expansion de l'Univers est accélérée. Le destin de l'Univers dépend du type d'énergie et de la matière noire (invisible à l'optique), notamment de leurs persistances.

3.2.2. La singularité initiale, un point faible du modèle du Big Bang

Ceci dit, comme on peut s'y attendre, tout modèle présente des points forts et des points faibles. Les limites du modèle manifestent son incomplétude.

La première faiblesse du modèle est la singularité initiale. Si l'on remonte dans le temps, la densité de la matière et la courbure de l'espace tendent vers l'infini. Il n'est donc pas possible de remonter indéfiniment dans le temps (Uzan, 2010, p. 209). Entre entre 0 et 10^{-43} seconde, la relativité générale qui sert de cadre théorique à ce modèle devient invalide (Lambert, 1999b, p. 530). À ce niveau les effets quantiques dominent et il n'existe pas encore de théorie unifiée qui combine correctement la relativité générale et la mécanique quantique (Lambert, 1999a, p. 144). Penrose, Hawking et Ellis ont prouvé par ailleurs, par plusieurs théorèmes sur la singularité, que celle-ci était inévitable pour les Univers ayant une densité de matière et une pression non nulle ainsi qu'un champ gravitationnel suffisamment attractif (Demaret, 1991, pp. 202-203). La plupart des cosmologistes estiment que les singularités ne constituent pas une réalité physique, mais bien une incomplétude du modèle.

Au regard de cette première limite, il n'est pas possible d'affirmer avec les auteurs que l'atome primitif, théorie énoncée par Georges Lemaître et qui n'est plus valable aujourd'hui, serait survenu tout d'un coup avant de commencer sa désintégration. Actuellement, il est tout simplement établi que le modèle du Big Bang, en tant que théorie, devient invalide avant 10^{-43} seconde. Rien ne peut être affirmé en deçà de cette limite. Le modèle ne parle pas du surgissement ni de l'apparition soudaine de l'atome.

Pour rappel, Georges Lemaître ne parle pas non plus d'un surgissement tout d'un coup de l'atome primitif, mais du commencement naturel (Lambert, 1999a, pp. 148-149) de l'Univers obtenu à partir d'un passage à la limite en remontant dans le temps. Il affirme ceci : « Cette origine nous apparaît, dans l'espace-temps, comme un fond qui défie notre imagination et notre raison en leur opposant une barrière qu'elles ne peuvent franchir » (Lambert, 1999a, p. 148). Il est clair pour Georges Lemaître que l'on ne peut rien dire de l'origine de l'Univers sur le plan scientifique.

Chez Georges Lemaître, le commencement naturel de l'Univers, et donc de l'espace-temps, coïncide avec le début de la désintégration du quantum unique dans lequel tout l'Univers est ramassé (Lambert, 1999a, p. 149). Il n'est question nulle part — insistons sur ce point — d'un surgissement tout d'un coup de l'atome primitif. L'affirmation de Georges Lemaître présuppose que l'atome primitif existe déjà en dehors de l'espace et du temps (Lambert, 1999a, pp. 149-150).

Comme l'affirme le Professeur Dominique Lambert (1999a, p. 149), en

> « [...] relativité générale, rien ne surgit puisque la variété spatio-temporelle est donnée d'emblée sur toute son étendue temporelle : la solution des équations d'Einstein procure, d'un seul coup d'œil, pourrait-on dire, toute l'histoire de l'Univers. Le commencement naturel est simplement ce point de courbure infinie où les coordonnées d'espace et de temps perdent leurs sens ».

Dans le même ordre d'idée, les auteurs affirment que le Big Bang s'est produit à un instant très petit que les physiciens appellent l'instant de Planck. Pour rappel, le terme Big Bang se réfère à deux choses. Premièrement, il se réfère au modèle cosmologique dans son ensemble et à toute l'histoire de l'Univers. Deuxièmement, il se réfère à la singularité initiale, au temps 0, ce moment où la densité de la matière, la courbure de l'espace-temps, les températures sont infinies (Moore, 2016, p. 284). Géométriquement, le Big Bang est une singularité de la variété de l'espace-temps (Carrol, 2004, p. 76). Cette singularité fait-elle partie de l'Univers ou non ? Mathématiquement parlant, une singularité, qui

n'est pas liée aux coordonnées, ne fait pas partie du domaine de définition de la fonction. En ce sens, le Big Bang comme singularité n'appartient pas à notre espace-temps. Il n'est donc pas vrai que le Big Bang s'est produit à un instant très petit appelé l'instant de Planck.

Il peut également sembler confus de dire que l'Univers postulé par le modèle du Big Bang a une origine absolue et que la matière, l'énergie, le temps et l'espace sont venus à l'existence à l'instant de cette singularité cosmologique initiale. Comme dit ci-haut, la singularité n'appartient pas à l'espace-temps. Puisqu'elle est hors du temps, l'on ne peut parler de *l'instant* de singularité cosmologique initiale. Il est plus correct de parler du commencement naturel de l'Univers que de la venue à l'existence ou de l'origine absolue de celui-ci.

Actuellement, les recherches sont toujours en cours pour bien cerner cette singularité. Les chercheurs en cosmologie physique espèrent qu'une théorie quantique de la gravité pourrait venir à la rescousse de la relativité générale qui sert d'élaboration du modèle de Big Bang. Cet état de choses montre l'incomplétude au modèle du Big Bang. L'affirmation des auteurs devrait être remise dans le contexte pour ne pas prêter à confusion.

3.2.3. Les autres points faibles du modèle

La deuxième limite du modèle est l'observation d'un Univers qui n'est pas strictement homogène puisqu'on y observe des galaxies se regroupant en amas et en filament ainsi que de grands vides. Ce modèle n'est valide que pour un Univers moyenné sur de grandes distances (Uzan, 2010, p. 207).

La troisième limite est l'introduction d'une composante matérielle non prédite par la théorie du Big Bang afin de reproduire les phénomènes astronomiques. Cette composante est la matière noire (Uzan, 2010, p. 208). En effet, la masse visible des amas de galaxies et des galaxies prises séparément est trop faible pour expliquer leur stabilité. L'analyse de grandes structures de l'Univers montre aussi que celui-ci ne contient pas assez de matière noire pour être plat comme le prédisent les modèles d'inflation. L'astronomie oblige donc à introduire une composante inconnue jusqu'alors : l'énergie sombre (Uzan, 2010, p. 208). Il en résulte un Univers constitué de 70 % d'énergie noire et 30 % de matière dont 6 % observés de matière ordinaire et 24 % de matière noire. Cependant, le modèle du Big Bang a été élaboré sur base du contenu matériel visible.

La quatrième limite du modèle concerne la constante cosmologique dans l'équation d'Einstein. Il s'avère que la valeur prédite dans la théorie est de

10^{112} erg/cm^3. La valeur observée est 10^{-8} erg/cm^3 (Carrol, 2004, pp. 173-174). L'écart entre la valeur théorique et la valeur observée d'un ordre 120 grandeur de puissance met à mal la compatibilité entre le modèle cosmologique et l'observation astronomique.

L'affirmation des auteurs selon laquelle les échecs des autres théories alternatives en cosmologie ne font que confirmer la grande solidité du modèle classique du Big Bang ne devrait pas occulter le domaine de validité de ce modèle. Comme nous venons de le montrer, ce modèle n'explique pas tout et des recherches sont toujours en cours. Le modèle rend compte efficacement d'un grand nombre de phénomènes, mais rencontre aussi des limites. La tentation serait d'absolutiser ce modèle en accentuant ses succès et en occultant ses limites afin de supporter la thèse à démontrer, ce qui ne serait pas une attitude véritablement scientifique.

3.2.4. Brève conclusion

Dans leur livre *Dieu, la science, les preuves*, Bolloré et Bonassies parlent de la singularité initiale comme un fait. Le long de cette section, nous avons voulu nuancer cette position en montrant que la science cosmologique à partir de laquelle est élaboré le modèle du Big Bang est singulière et particulière dans la mesure où son objet d'étude, l'Univers, est unique, non reproductible en laboratoire et non distanciable avec son observateur. Il est donc impossible de distinguer nécessité et contingence. Tout discours sur l'Univers porte les forces et les limites de la cosmologie. L'on ne peut donc absolutiser un modèle cosmologique.

Quant à la singularité initiale, celle-ci est une faiblesse de la théorie du Big Bang et non un fait. Au voisinage de l'instant 0, en deçà du 10^{-43} seconde, la relativité générale devient invalide pour décrire l'Univers. Cela ne signifie pas que l'Univers cesse d'exister. L'incapacité de la cosmologie physique à expliquer le monde en deçà de cet instant révèle juste l'incomplétude de la théorie. Les extrapolations que les auteurs tirent à propos du surgissement « tout d'un coup » de l'Univers semblent dès lors excessives.

L'expression selon laquelle l'atome primitif aurait surgi tout d'un coup n'a plus cours. La théorie de l'atome primitif a été abandonnée. Il est mieux de parler du commencement naturel de l'Univers.

Le caractère incomplet de la théorie du Big Bang se manifeste aussi en ce qu'elle n'avait pas prédit la matière et l'énergie noires qui composeraient 94 % du contenu de l'Univers et qui joueraient le rôle d'un champ gravitationnel

répulsif. Il a été introduit pour expliquer l'accélération de l'expansion de l'Univers et la stabilité de certaines galaxies et de certains amas de galaxies. Pourtant la cosmologie a été élaborée sur la seule base de la matière visible, qui ne constitue que 6 % du contenu de l'Univers.

Enfin, à l'heure actuelle, le destin de l'Univers n'est pas établi avec certitude. L'expansion de l'Univers sera-t-elle *ad vitam aeternam* ou l'Univers connaîtra-t-il un temps d'expansion puis un temps de contraction ? Le destin de l'Univers à ce stade reste ouvert.

4. De la mort thermique de l'Univers en relativité générale et en cosmologie

C'est Richard Tolman qui a donné la formulation relativiste de l'entropie en 1928 (Tolman, 1928, March, pp. 268-272 ; April, pp. 348-353 ; September, pp. 701-708), 1931 (Tolman, 1931, pp. 153-160) et 1935 (Tolman, 1935, pp. 321-326). Dans ses articles, il montre que, quel que soit le type d'univers considéré, stationnaire ou dynamique, l'entropie de celui-ci augmente avec le temps. En considérant l'évolution spatio-temporelle de l'Univers, il est clair que son entropie augmente et celui-ci tend de manière asymptotique vers un état où l'énergie sera uniformément distribuée.

Le destin de l'Univers dépend du type d'énergie et de la matière noire (invisible à l'optique), notamment de leurs persistances. La nature, l'origine, bref la physique de l'énergie et de la matière noire ne sont pas encore connues. Vont-elles perdurer dans le temps ou non ? La cosmologie relativiste s'interroge toujours. Tout ce qu'on peut constater est que tant que l'Univers continuera son expansion *ad vitam aeternam*, son entropie augmentera asymptotiquement vers un maximum.

En 2010, Roger Penrose, mathématicien et physicien, prix Nobel de physique en 2020, propose dans sa conférence de 2006 à Édimbourg (Penrose, 2006), dans son livre (Penrose, 2010) et dans un article (Penrose, 2018) une nouvelle cosmologie fondée sur le concept de la transformation conforme de la métrique spatiotemporelle. Ce concept lui permet d'établir une remise à 0 d'entropie et une succession d'Univers commençant par un Big Bang et se terminant par la mort thermique de l'Univers. Encore une fois, la possibilité d'Univers cycliques n'est pas totalement exclue.

5. Le principe anthropique

Comme le disent les auteurs eux-mêmes, le principe anthropique est une « expression introduite par l'astrophysicien Brandon Carter en 1974, pour décrire les travaux de Robert Dicke et bien de nombreux autres savants sur le réglage extrêmement fin des paramètres fondamentaux de l'Univers (données initiales, constantes, lois) qui conditionne la possibilité de la vie et de notre existence » (Bolloré & Bonnassies, p. 561).

Brandon Carter a énoncé le principe anthropique sous deux formes : la forme faible et la forme forte. Dans l'idée de Carter, le principe anthropique faible constate que la présence d'observateurs dans l'Univers, à savoir l'homme, impose des contraintes sur la position temporelle de ceux-ci, ainsi que sur les variables cosmologiques telles que la taille et la densité de l'Univers (Demaret, 1991, p. 275). En d'autres mots, l'existence de l'homme est expliquée à partir des propriétés particulières de l'Univers observé. L'ordre de causalité est respecté. Les propriétés actuelles de l'Univers causent l'existence de l'homme au lieu que ce soit la présence de l'homme qui cause ces propriétés (Heller, 2009, p. 80).

Le principe anthropique fort énoncé par Carter exprime l'idée que l'Univers *doit* être tel qu'il est pour que l'homme existe. En d'autres mots, l'existence d'observateur dans l'Univers impose des contraintes sur l'ensemble des caractéristiques de celui-ci. Le principe anthropique fort se base sur le fait qu'une très petite modification des lois et des constantes physiques ne permettrait pas l'existence de l'homme (Heller, 2009, p. 81). Les tableaux n°1-2 illustrent les conséquences qui adviendraient à la moindre modification des valeurs des constantes cosmologiques ou des propriétés de l'Univers.

Bien évidemment, le principe anthropique n'a pas été toujours compris dans le même sens que celui de Carter. Certains lui ont greffé une téléologie. L'homme est considéré comme la causalité de la forme actuelle de l'Univers. Comme si une intentionnalité agissait dans les propriétés de l'Univers pour que l'homme advienne. Cette interprétation téléologique est celle adoptée par les auteurs du livre *Dieu, la science, les preuves* : les conditions initiales de l'Univers auraient été choisies par une supra-volonté, un Créateur distinct de l'Univers pour que l'homme advienne.

Ainsi, peut-on lire sous leur plume :

> « Se plonger dans les fabuleux réglages de l'Univers qui ont rendu son évolution possible avec, au bout, l'apparition de la vie, c'est tou-

Interaction	Diminution de la constante de couplage	Augmentation de la constante de couplage
Forte	• Pas d'autres noyaux que l'hydrogène • Pas d'étoiles, pas de carbone	• Formation de noyaux lourds ; pas de carbone
Électromagnétique	• Pas de liaison chimique possible, donc pas de molécules organiques complexes	• Peu de réactions chimiques possibles.
Faible	• Univers contenant uniquement de l'hélium ; pas d'eau • Pas de cycles de réactions nucléaires de combustion de l'hydrogène. • Pas de supernovæ	• Pas de supernovæ, donc pas d'éjection d'éléments lourds, nécessaires à la génération des êtres vivants.
Gravitationnelle	• Pas d'amorçage des réactions thermonucléaires au sein de nuages interstellaires en contraction. • Pas de supernovæ	• Durée de vie des étoiles très courte ; pas de planètes.

Tableau n°1.

Source : Demaret, 1991, p. 277.

Propriété de l'Univers	Conséquences de modifications de cette propriété
Courbure de l'Univers, reliée au rapport de la densité actuelle de l'Univers à la densité critique	• Si courbure plus élevée (positive) : effondrement de l'Univers trop rapide pour que les étoiles aient le temps de fournir du carbone. • Si courbure plus faible (négative) : pas de formation de galaxies.
Isotropie de l'Univers	• Difficulté de formation de galaxies dans des Univers anisotropes (sauf ceux initialement proches des modèles isotropes FLRW de géométrie spatiale euclidienne et justement susceptibles de devenir isotropes au cours de leur évolution).
Masse totale de l'Univers, supposé fermé.	• Une réduction considérable de la masse d'un Univers fermé conduirait à une durée du cycle expansion-contraction, beaucoup trop courte pour que des étoiles, des éléments lourds et des planètes puissent se former et donc que la vie puisse apparaître.
Nombre de dimensions de l'espace, n	• Si n<3, difficulté d'imaginer l'existence d'organismes complexes avec des systèmes nerveux suffisamment développés. • Si n>3, pas d'orbites planétaires, ni d'atomes stables.
Identité des particules de même type	Si les particules de même type n'étaient pas identiques, le principe d'exclusion de Pauli ne s'appliquerait pas et les noyaux constitutifs des êtres vivants seraient altérés voire n'existeraient pas.
Existence même des particules élémentaires	Comment la vie pourrait-elle exister sans particules ?

Tableau n°2.

Source : Demaret, 1991, p. 279.

> cher du doigt l'évidence que le hasard n'est pas une solution explicative crédible » (Bolloré & Bonnassies, 2021, p. 172).
>
> « Mais si l'on veut bien faire l'effort d'en soulever le couvercle et de s'intéresser aux mécanismes et aux réglages compliqués qui composent cette machinerie, alors l'évidence saute aux yeux : il y a forcément un concepteur intelligent à l'origine de cette réalisation » (Bolloré & Bonnassies, 2021, p. 173).

Le principe anthropique tel qu'énoncé par Carter est scientifiquement établi. Comme les tableaux ci-dessus les montrent en cohérence avec les sciences expérimentales, des scénarios et des simulations ont été étudiés en considérant différentes modifications des valeurs de constantes physiques, ainsi que les propriétés géométriques et physiques de l'Univers, etc. Les résultats, aussi étonnants qu'ils soient, montrent que des petites modifications ne permettent pas l'émergence de la vie humaine (Demaret, 1991, p. 277).

Insistons sur le sens que donne Carter au principe anthropique fort. Le principe anthropique fort ne postule pas un créateur en amont du commencement de l'Univers. Il souligne le fait qu'il existe des conditions très étroites pour permettre l'émergence du phénomène humain. Puisque nous existons, ces conditions ont été réunies d'une telle façon qu'une très petite modification de l'une d'entre elles aurait conduit à un Univers sans l'homme. Les conditions initiales doivent avoir résulté des interactions des lois physiques qui nous sont encore inconnues comme le souligne Heller (2009, p. 81).

Les méthodes scientifiques ne peuvent pas démontrer une téléologie divine du principe anthropique de l'Univers étant donné le caractère théologico-métaphysique du concept « Dieu ». Il n'est pas possible de réfuter la proposition des auteurs selon laquelle Dieu est l'auteur de ces réglages fins, pas plus que son contraire. D'après Popper, le but de la science n'est pas de vérifier des hypothèses, mais de les réfuter (Ferry, 2013, p. 15). Pour cela, elles doivent être formulées de sorte qu'elles soient testables, falsifiables ou réfutables par l'expérience ou l'observation. Ce qui n'est pas le cas de la thèse des auteurs du livre *Dieu, la science, les preuves*.

6. Conclusion

Le but poursuivi par cet article était de savoir si les affirmations et les présupposés utilisés dans le cadre de l'argumentation du livre *Dieu, la science, les preuves* étaient réellement établis par la science actuelle. Nous avons restreint

notre champ d'évaluation aux trois concepts cosmologiques abordés dans ledit livre : « la mort thermique de l'Univers », le « Big Bang » et « le Principe anthropique ».

Concernant la mort thermique, les auteurs avancent que le destin de l'Univers est scellé par une mort thermique en un temps fini en recourant au second principe de la thermodynamique. Il est ressorti de notre exposé que l'entropie de l'Univers augmente quel que soit le type d'Univers considéré : Univers ouvert ou fermé. Par contre, selon la cosmologie et en cohérence avec les données actuelles, le destin de l'Univers dépend du type d'énergie et de la matière noire (invisible à l'optique) et de leurs comportements. La cosmologie relativiste ne sait pas encore grand chose sur l'origine, la nature, l'évolution de l'énergie et de la matière noire. Tant que l'Univers continuera son expansion *ad vitam aeternam*, son entropie augmentera asymptotiquement vers un maximum.

Concernant le Big Bang, il s'est agi de clarifier ce concept. Celui-ci évoque soit le modèle tout entier, soit la singularité. En ce sens, le Big Bang est hors de l'espace-temps, donc de l'Univers. Ladite singularité révèle simplement la faiblesse du modèle cosmologique qui ne parvient pas à la décrire avec les outils mathématiques de la relativité générale. On peut espérer qu'une théorie comprenant la mécanique quantique pourrait venir à bout de cette singularité.

Une autre clarification a porté aussi sur la théorie de l'atome primitif avancée par Georges Lemaître. Ce dernier considère le début de l'Univers comme le moment où l'atome primitif commence à se désintégrer. Il n'est nullement question, chez lui, d'un surgissement soudain de l'atome primitif. Georges Lemaître imaginait explicitement que l'atome primitif préexiste avant sa désintégration. Cette théorie n'est plus d'actualité en cosmologie aujourd'hui.

Il ressort de notre exposé que, d'après la formulation probabiliste de l'entropie et les travaux de Penrose, la vision cyclique de l'Univers n'est pas exclue.

Concernant le principe anthropique, les auteurs semblent avoir donné une signification téléologique, finaliste, au principe anthropique tel qu'énoncé à l'origine par Carter. Ce dernier avait énoncé deux formes du principe anthropique. La première, dite faible, constate simplement que la présence de l'observateur, l'homme donc, impose des réglages fins à cet Univers. La seconde, dite forte, stipule que l'Univers devait être tel qu'il est pour permettre à l'observateur d'exister. S'appuyant sur le principe anthropique fort, les auteurs ont postulé l'existence d'un créateur comme auteur de ces réglages fins de l'Univers. Un tel postulat, tout comme son contraire, ne peut être réfuté par l'expérience ; il ne peut donc être qualifié de scientifique, et encore moins prétendre à être

établi scientifiquement. Leur hypothèse n'est donc pas établie scientifiquement.

Remerciements

Nous tenons à remercier les professeurs André Füzfa et Dominique Lambert, mes directeurs de thèse, qui, sur le plan scientifique, nous ont orienté, conseillé et corrigé durant l'élaboration de cet article. Nous tenons aussi à remercier Paul Malvaux, S. J., ingénieur de formation, pour la relecture de cet article. À ceux-ci, nous exprimons toutes nos gratitudes.

Bibliographie

Agence France-Presse (2022, 18 janvier). Dieu existe-t-il ? Un best-seller controversé prétend le prouver par la science. *La Croix*. https://www.la-croix.com/Dieu-existe-best-seller-controverse-pretend-prouver-science-2022-01-18-1301195462

Andrillat, H. (1970). *Introduction à l'étude des cosmologies* (Intersciences). Armand Colin.

Barrau, A., & Grain, J. (2011). *Relativité générale : cours et exercices corrigés*. Dunod.

Bollore, M-Y., & Bonnassies, O. (2021). *Dieu, la science, les preuves : l'aube d'une révolution*. Guy Trédaniel éditeur.

Carrol, S. M. (2004). *Spacetime and Geometry : An introduction to general relativity*. Addison Wesley.

Demaret, J. (1991). *Univers : les théories de la cosmologie contemporaine*. Éditions le Mail.

Ferry, L. (2013). *Karl Popper : qu'est-ce que la science ?* (Sagesses d'hier et d'aujourd'hui). Le Figaro, le Point.

Hecht, E. (2013). *Physique*. De Boeck.

Heller, M. (2009). *Ultimate explanations of the universe*. Springer.

Kragh, H. (2004). *Matter and spirit in the universe : scientific and religious preludes to modern cosmology*. (History of Modern Physical Sciences). Imperial College Press.

Lambert, D. (1999a). *Sciences et théologie : les figures d'un dialogue*. Éditions Lessius & Presses Universitaires de Namur.

Lambert, D. (1999b). Sciences et théologie. *Nouvelle Revue Théologique*, (119), 530.

Moore, T. A. (2016). *Relativité générale*. De Boeck Supérieur.

Nottale, L. (1995). Relativité et cosmologie. Dans Benest, D., & Froeschlé, C. *L'Univers des galaxies* (pp. 125-159). (Collection les fondamentaux). Hachette.

Particle data group. (2021, August). *2 Astrophysical Constants and Parameters*. Particle data group. https://pdg.lbl.gov/2021/reviews/rpp2021-rev-astrophysical-constants.pdf

Penrose, R. (2006, June). Before the Big Bang : An Outrageous New Perspective and Its Implications for Particle Physics. *Proceedings of the EPAC 2006, Edinburgh*, 2759-2762. https://accelconf.web.cern.ch/e06/PAPERS/THESPA01.PDF

Penrose, R. (2010). *Cycles of Times : An extraordinary New view of the Universe*. The Bodley Head.

Penrose, R. (2018). The Big Bang and its Dark-Matter Content : Whence, Whither, and Wherefore. *Foundations of Physics*, 48, 1177–1190. https://doi.org/10.1007/s10701-018-0162-3

Tolman, R. (1928, 1 April). On the Energy and Entropy of Einstein's Closed Universe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 14(4), 348-353. https://doi.org/10.1073/pnas.14.4.348

Tolman, R. (1928, 1 March). On the Extension of Thermodynamics to General Relativity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 14(3), 268-272. https://doi.org/10.1073/pnas.14.3.268

Tolman, R. (1928, 1 September). Further Remarks on the Second Law of Thermodynamics in General Relativity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 14(9), 701-706. https://doi.org/10.1073/pnas.14.9.701

Tolman, R. (1931, 1 March). On Thermodynamic Equilibrium in a Static Einstein Universe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 17(3), 153-160. https://doi.org/10.1073/pnas.17.3.153

Tolman, R. (1935, 1 June). Thermal Equilibrium in a General Gravitational Field. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 21(6), 321-326. https://doi.org/10.1073/pnas.21.6.321

Uzan, J. P. (2010). *Vous avez dit Big Bang.* Dans Audouze, J. (dir.), *Le Ciel à découvert* (pp. 203-213). Cnrs Éditions.

Revue des Questions Scientifiques, 2022, 193 (1-2) : 29-35

Dieu, la science, les preuves

Qu'est-ce qui fait « scandale » ?

Analyse très partielle de *Dieu, la science, les preuves*

Jean Dhombres
École des hautes études en sciences sociales
Centre national de la recherche scientifique
jean.dhombres@ehess.fr

Résumé. – Me fait obstacle, au sens de « me scandalise » selon l'évangile de Matthieu (16, 23), l'utilisation déformée d'une science mathématique contemporaine dans le livre qui est sous-titré : *L'aube d'une révolution*. Ce n'est pas l'effort d'annuler des contradictions entre science et religion qui est malvenu ; c'est celui de prouver, mais par des arguments scientifiques que les auteurs du livre savent faux. La foi religieuse ne peut qu'y perdre. Mon regard n'est que très partiel sur ce livre, sur son seul usage des mathématiques, mais quand la vérité est volontairement malmenée quelque part, tout n'est-il pas contaminé ?

Abstract. – The distorted use of contemporary mathematical science in this book — which is subtitled : *L'aube d'une révolution* — is a hindrance to me, in the sense that it "shocks me" as per the Gospel of Matthew (16:23). It is not the attempt to overcome the contradictions between science and religion that is inappropriate, but rather the attempt to provide proof by means of scientific arguments that the authors know to be false. Religious faith is thus bound to lose. My view on this book is limited in that it is based solely on its use of mathematics, but when the truth is somehow deliberately tainted, does this not contaminate the whole ?

Mots clés. – Calculable selon Turing — Conjecture de Fermat — Science et religion

Plan de l'article

1. **Introduction : le scandale de l'omniscience de l'ordinateur**
2. **Motivation par le calculable de Turing**
3. **Retour détaillé sur l'ordinateur et Gödel**

4. Mon regard partiel
5. L'autre scandale

1. Introduction : le scandale de l'omniscience de l'ordinateur

Je ne prends pas au hasard un bout de phrase dans le glossaire de l'ouvrage intitulé : *Dieu, la science, les preuves : l'aube d'une révolution*. Car il m'est révélateur de ce qui rend « scandaleux » ce gros livre, par ailleurs très bien édité, relu minutieusement, ayant, nous dit-on pour la mise en page, reçu la collaboration du meilleur ouvrier — il faudrait dire ouvrière ! — de France en graphisme. Permettez-moi de mener cette « preuve », dans laquelle j'emploie le mot « scandaleux » au sens de σκάνδαλον εἶ ἐμοῦ (Mt 16, 23), utilisé par Jésus s'adressant à Pierre en lequel ou derrière lequel il entend parler Satan. N'ayant aucun professionnalisme théologique, philosophique ou de sciences du fait religieux, je prends, en mathématicien et historien, le mot de façon interprétative, comme désignant ce qui « me fait obstacle ». Il est ce qui m'empêche fondamentalement de suivre la thèse du livre indiquant que la science contemporaine, en l'occurrence celle de l'informatique et de la logique mathématique, contrairement à celle dite moderne par les historiens (révolution scientifique du XVIIe siècle et âge classique), supporterait aisément le Dieu créateur. À la façon dont l'histoire qui atteste le rôle du Messie — fils de Dieu dans la foi chrétienne — permettrait inéluctablement Dieu. Cette mention peut paraître bizarre ici, mais on verra plus loin pourquoi elle fait partie du problème de lecture de l'ouvrage aussi bien dans son but apologétique que dans sa fonction « prophétique », l'annonce d'une révolution du savoir. Mais ne savons-nous pas, par les poètes, que les aubes sont souvent déçues ?

Je prends donc l'entrée « Preuve ontologique », laquelle est succinctement et très classiquement expliquée comme « l'existence de Dieu à partir de la définition même d'un être parfait ». Mais le texte se poursuit : la preuve « a été relancée dans le langage mathématique de la logique modale par Gödel (XXe siècle), et dernièrement vérifiée par les outils informatiques ultra-puissants de Christoph Benzmüller (XXIe siècle) » (pp. 560-561). Ainsi le texte affirme qu'un ordinateur[1] ou autre engin numérique, à condition d'être ultra-puissant (?), a pu « vérifier » un énoncé aussi peu programmable que « l'existence de Dieu », ou aussi peu « calculable », si l'on adopte le sens de ce mot fourni

1. L'article de 1936 de Turing, *On computable numbers, with an application to the Entscheidungs problem*, est traduit et commenté en français (Girard, 1995). Pour une simple approche, lire Dhombres (2016).

par Alan Turing en 1936 et que reprennent tous les scientifiques qui font usage des ordinateurs. S'il est un apport, fondamental, de la science contemporaine, c'est bien qu'il faille classer les problèmes par leur difficulté algorithmique, qui devient une mesure quantitative des difficultés. Et donc ne pas chercher à les attaquer par les moyens numériques. À cette aune de l'énoncé de l'ouvrage, une personne (pas d'esprit malin, mais juste de bon sens sémantique) ne peut que subodorer (*horresco referens*) qu'un ordinateur encore plus puissant serait susceptible de montrer le contraire quant à Dieu ! Fouillons un peu. À la page 317 du même livre, seul endroit, je crois, où la chose dite en glossaire soit mentionnée, l'ordinateur qui aurait servi à une telle preuve n'est plus qualifié d'ultra-puissant ; il est dit que la vérification prend peu de temps grâce à l'informatique. L'accent sur la puissance passe à la logique modale, celle utilisée étant dite « supérieure ». Voilà un comportement de propagande et de matamore, comme dans les foires : affirmer du gros quelque part pour impressionner le chaland. Pas trop grave d'agir ainsi ? Le scandale dans l'exploitation, tout à fait possible d'un célèbre texte posthume de Gödel, est de l'associer à une prouesse d'ordinateur, voire de démonstration automatique. Là est l'illusion scandaleuse. Le scandale atteint d'abord la science, ainsi présentée de façon « démoniaque ». C'est Méphistophélès qui parle et ouvre l'impossible... et en oubliant comme par hasard la petite formalité de la signature du docteur Faust : le calculable ne couvre l'infini des questions qu'au prix (?) de l'éternité de la soumission.

2. Motivation par le calculable de Turing

Je n'ai pas voulu commencer par expliquer qu'une sollicitation m'a été faite par la *Revue des Questions Scientifiques* de participer à une entreprise à plusieurs voix de compte rendu du livre en question. Sachant que chaque voix aurait la tâche de gloser sur un pan particulier du savoir, y compris théologique. Pour moi donc, il s'agissait des mathématiques, en y incluant la logique mathématique, et, bien sûr, profitant des autres analyses, je ne vais pas reprendre le plan de l'ouvrage, et la terrible division en deux : les preuves liées à la science et les preuves hors science. Mais je pense que l'on comprend pourquoi j'ai choisi de faire mention du « calculable » de Turing, même s'il n'en est pas question dans le livre. Car justement la machine idéale de Turing, qui dépasse en théorie (et je ne dis pas puissance) nos ordinateurs, ne permet pas la performance de l'existence divine. Je ne retire pas, ni donc ne veux nuancer le mot « scandale » : car je l'entends bien comme un obstacle, ou plutôt comme des obstacles. N'ayant évoqué que l'obstacle de compréhension de la calculabilité.

3. Retour détaillé sur l'ordinateur et Gödel

Bien sûr, dira-t-on, il ne faudrait pas s'attarder à quelques maladresses de langage — « ultra-puissant », « supérieure » —, soi-disant imposées par le parti-pris de vulgarisation de l'ouvrage. Mais seulement peser l'argumentation. Or le livre ne donne pas d'argumentation : il assène en l'occurrence qu'une « preuve » existe, réfère en note à un article sur le Net de 2002, et à une discussion dans le mensuel *Science et Vie* n° 1235 du mois d'août 2020. Puisqu'on vous dit dans ce mensuel que l'informatique confirme que « Dieu existe nécessairement » ! Les auteurs se dédouanent donc sur un mensuel de vulgarisation. Comme pour faire équilibre (?), ils donnent, dans d'autres notes, des idées dites contraires, attribuées à la mère même de Gödel, voire procédant en dehors de toute informatique. Cette autre fois pour se prévaloir d'un « théorème de Gödel », première fois ainsi nommé. Il n'a pourtant rien à voir avec les célèbres théorèmes d'incertitude de 1931. Entraîné par le flot, quel lecteur ne risque-t-il pas de s'y tromper ? C'est de fait la construction rhétorique du discours qui est fallacieuse, une machinerie trompeuse, et une volonté de tromper.

Décortiquons mieux ce recours à Gödel. Le texte écrit effectivement qu'il s'agit d'utiliser un « credo » comme Gödel lui-même le désigne, « dont l'énoncé tient en 12 lignes de symboles de logique formelle avec 5 axiomes, 3 définitions et 4 théorèmes ». Voilà du bien gros, dira-t-on ! Une référence est faite (entre autres sources pourtant non citées) à un livre d'un savant logicien, programmateur célèbre, Hao Wang, dans la relation très sensible qu'il donna de ses discussions avec Kurt Gödel, parue en 1997 : « un voyage en logique, de Gödel à la philosophie ». Comme on lit bien le mot « philosophie », et que la partie de l'ouvrage dont je déconstruis le style concerne la science, les auteurs corrigent ou détournent en assénant la preuve de la nécessité de l'existence de Dieu, évidemment irréfutable puisque programmée sur ordinateur. Tel est bien le langage du boniment de la foire.

Non, pas tout à fait, seule est dite la nécessité en logique formelle à partir de 5 axiomes. Bravo pour la performance technique qui est seulement évoquée, mais elle ne saurait nous aveugler. À ce titre, un seul axiome, celui des parallèles en géométrie dite euclidienne, suffit à nous garantir contre l'existence des géométries non euclidiennes qui n'en jouent pas moins en physique depuis plus d'un siècle. Et pourtant, pourrait-on répéter, contrefaisant Galilée, elle tourne !

Le piège dialectique que ce livre tend en l'occurrence des sciences dures serait de discuter la version posthume laissée par Gödel, ou Hao Wang, voire Benzmüller. Non que ce travail soit inintéressant, mais parce que justement de

telles discussions, et au niveau même de vulgarisation du livre, devraient précisément y être menées. En l'occurrence, à la page 318, un fort bémol est donné en mentionnant un des axiomes utilisés par Gödel — « Ressembler à Dieu est une propriété positive » — dont il est dit sournoisement que les « matérialistes » ne peuvent l'accepter. Alors qu'on peut tout simplement penser, en dehors de toute idéologie, qu'adopter un tel axiome ne risque certainement pas d'impliquer l'inexistence de Dieu ! Le présent texte ne cache pas les gênes de son exhibition, mais il les tord, et le fait avec une tenace volonté. Ici, l'idée développée aux pages 318 et 319 est de dire, d'abord comme un reproche d'un manque d'impartialité scientifique, que Gödel est « théiste », pour enchaîner sur la preuve qu'il serait « luthérien », étant contre les religions, mais pas « contre la Religion ». Bizarre quand même cette majuscule ainsi survenue. Une ligne plus loin, en conclusion cette fois, il est écrit, alors que rien de tel n'est venu auparavant le corroborer : Gödel « a démontré la transcendance de la Vérité par rapport à la notion de démonstration ». On avait pourtant entendu vanter la démonstration par l'ordinateur ! Oubliez tout cela, qui n'était que la façon de vous conduire à mon stand. Ou plutôt, comme le livre vous donne avec l'appel aux axiomes, les moyens de récuser ledit « théorème » de Gödel, et parce que sa preuve est formellement justifiée par les ordinateurs, vous ne devriez pouvoir que conclure à la transcendance. C'est sublime dans le déni de la science, puisque la « preuve » formelle étant reconnue insuffisamment vraie, serait automatiquement faux l'énoncé contraire, l'inexistence de Dieu ou l'absence de nécessité de son existence. Ce n'est plus la manière qui part du faux pour établir du vrai (du faux on peut prouver ce qu'on veut, disait-on joliment en latin du temps de la scolastique, *ex falso quodlibet*) ; mais ici de l'insuffisance logique ou mathématique constatée par la bande de la preuve scientifique que l'on fait semblant d'admirer, il est « déduit » une autre Vérité. C'est cette « voie » qui signalerait « l'aube d'une révolution » du titre : en somme la force de la science serait de prouver son insuffisance. Autre scandale : l'existence de nombres irrationnels depuis le IVe siècle avant J.-C., celle de problèmes incalculables au sens de Turing depuis 1936, ne sont pas des insuffisances, mais la preuve que l'esprit humain ne tombe pas nécessairement dans la béatitude simpliste. J'ai lu beaucoup de béatitudes de cet ordre dans ce livre.

4. Mon regard partiel

Mais je n'ai, observera-t-on, que vérifié trois ou quatre pages de l'ouvrage et son organisation de preuves, sur les 577 numérotées. C'est insuffisant sans aucun doute, mais il n'en reste pas moins que l'affaire de la preuve ayant occu-

pé plus d'une vingtaine de pages dès le début de l'ouvrage, on peut considérer qu'il y a là un vice. Dois-je continuer vraiment ?

Amusons-nous d'un court florilège. Page 35, il est énoncé la conjecture de Fermat, sous la forme : $x^n + y^n = z^n$ pour tout n supérieur ou égal à trois est impossible. Or évidemment tout élève de lycée peut prendre x et y quelconques, et calculer un z comme racine n-ème de la somme. L'oubli est d'avoir omis de spécifier que x, y et z doivent être des nombres entiers, et non tous nuls. Cet oubli fait pour le moins désordre. Page 38, il est dit que c'est la pomme qui tombe par terre « et non l'inverse ». Cela paraît imparable. Mais Newton, auquel il est fait allusion ici, fait bien remarquer que le Soleil est aussi attiré par la Terre ! C'est une conséquence inéluctable de la modélisation par la loi précisément dite d'attraction. Que le mouvement de la Terre dû à la pomme soit imperceptible ne permet pas de négliger dans l'absolu la double attraction.

Puisque dans ce compte rendu je me limite à l'utilisation des sciences mathématiques, on est surpris de voir resurgir une forme du paradoxe de Zénon sur le mouvement. C'est aux pages 516 et 517, par lesquelles il s'agit de montrer qu'est impossible de « rejoindre zéro en partant de moins l'infini ». Le texte suit : « la conclusion s'impose : le passé est fini ». L'auteur est ravi de dire que l'argument est « purement philosophique » : mais l'argument est celui de Zénon sur le véloce Achille qui ne peut pas rattraper la lente tortue parce que le temps est pris de façon discrète comme on dit. Ici, on discrétise depuis moins l'infini, sous la forme *t-1*, *t-2*, etc. La convergence de certaines séries infinies est la réponse acquise depuis un auteur comme Grégoire de Saint-Vincent au XVIIe siècle. Le texte n'en conclut pas moins : aucun phénomène ne peut avoir une histoire causale infinie. C'est aussi bien l'oubli qu'il existe des processus markoviens, soit des processus éventuellement discrets pour lesquels la prédiction du futur à partir du présent n'est pas rendue plus précise par des éléments d'information concernant tout le passé. Dois-je mieux préciser par des formules du calcul des probabilités pour discuter un livre qui prétend utiliser les résultats de la science contemporaine ? Non, il suffit de consulter les pages du Web. Pourtant, je dois dire qu'Andréï Markov a présenté ses résultats en 1906. Le disant ainsi, je ne me cache pas derrière les *hard sciences*, et l'absence de culture historique récente des auteurs concernant l'ancien Israël est confondante, bien plus peut-être que les exemples que j'ai pu relever pour la simple culture mathématique, comme Jean-Michel Maldamé (2022) le dit si bien. Et je ne reprends pas les exemples physiques ou cosmologiques précis de Williams Delhonga (2022), qui conclut qu'il faudrait apporter des « nuances ».

5. L'autre scandale

Je n'en vais pas pour autant nuancer mon propos sur le « scandale », qui tient à la volonté de tromper par une vue biaisée, et fausse, des sciences mathématiques. Bien d'autres pages, notamment « politiques » de cet ouvrage, par exemple sur la guerre des Six Jours, me paraissent autant être des « obstacles » à l'adhésion au propos. Mais je me suis volontairement focalisé sur les quelques pages qui malmènent une science, et du coup, autre scandale, malmène la foi si elle cherche ainsi à se fortifier par un tel mauvais aloi.

Bibliographie

Bolloré, M.-Y., & Bonnassies, O. (2021). *Dieu, la science, les preuves : l'aube d'une révolution*. Paris : Guy Trédaniel éditeur.

Cavaillé-Fol, Th., & Nikitine, K. (2020), Existence de Dieu : les mathématiques ont enfin la réponse. *Science & Vie*, (1235).

Dehonga, W. (2022). La mort thermique de l'Univers, le Big Bang et le principe anthropique dans la science actuelle : discussion autour du livre « Dieu, la science, les preuves ». *Revue des Questions Scientifiques*, 193(1-2), 9–30.

Dhombres, J. (2016). Au cœur des mathématiques les plus profondes. Dans *Lettres à Alan Turing* (réunies par J.-M. Lévy-Leblond) (pp. 75-89). Paris : Éditions Thierry Marchaise.

Girard, J.-Y. (1995). *La machine de Turing*. Paris : Le Seuil.

Maldamé, J.-M. (2022). Pour un discernement sur le chemin de l'apologétique. *Revue des Questions Scientifiques*, 193(1-2), 39–50.

Revue des Questions Scientifiques, 2022, 193 (1-2) : 37-48

Dieu, la science, les preuves

Pour un discernement sur le chemin de l'apologétique

Jean-Michel Maldamé
Couvent des Dominicains (Toulouse)
Académie pontificale des sciences
Académie internationale des sciences religieuses
jean.michel.maldame@gmail.com

Résumé. – Le succès de librairie de l'ouvrage de Michel-Yves Bolloré et Olivier Bonnassies interroge la communauté chrétienne soucieuse d'évangélisation et les esprits soucieux d'instaurer un dialogue entre les sciences de la nature et les sources de la culture traditionnelle, au premier plan desquelles se trouve la religion. Respectant le projet apologétique des auteurs, cet exposé analyse leur argumentation : quel est le fondement de leur démarche ? La présentation des résultats reconnaît-elle la spécificité de l'approche scientifique ? La référence aux sources citées est-elle conforme à l'intention de leurs auteurs, tant en cosmologie (G. Lemaître) qu'en logique (K. Gödel) ? Les notions abordées sont-elles bien situées dans la tradition théologique (le miracle, la création…) ? Ces analyses donnent des exigences de méthode pour un dialogue entre science moderne et tradition chrétienne.

Abstract. – The bestseller by Michel-Yves Bolloré and Olivier Bonnassies raises certain questions for the Christian community taking an interest in evangelisation, as well as those enquiring minds eager to establish a dialogue between the natural sciences and origins of traditional culture, wherein religion is to be found at the forefront. While remaining faithful to the apologetic agenda of the authors, this report serves to analyse their reasoning: what is their approach based on? Do the results presented adhere to the requirements of scientific method? When they refer to cited sources do they uphold the intended meaning of their authors, as much in cosmology (G. Lemaître) as in logic (K. Gödel)? Are the ideas they broach sufficiently rooted in theological tradition (miracles, creation, etc.)? Such assessments serve to provide the methodological requirements for a meaningful dialogue between modern science and Christian tradition.

Mots clés. – Apologétique — Création — Miracle — Raison et foi

1. Introduction

Les relations entre science moderne et foi chrétienne sont toujours tendues, voire conflictuelles ; elles ne laissent pas d'être d'autant plus confuses qu'il y a des présupposés non clarifiés tant sur leur objet que sur leur méthode. L'ouvrage de Michel-Yves Bolloré et Olivier Bonnassies, son succès médiatique et les réactions du public le montrent. Pour cette raison, cette critique philosophique et théologique commence par une mise en perspective du débat actuel sur les relations entre science moderne et tradition chrétienne[1], en raison de la différence notable entre l'approche des pays anglo-saxons et celle dite « continentale » où dominent la France et l'Allemagne. Cette différence vient de la place accordée à la philosophie. Dans la tradition française, la préparation au baccalauréat comporte un enseignement philosophique — ce n'est pas le cas dans le monde anglo-saxon. Une conséquence est que les protagonistes du « dialogue science-foi » n'ont pas la même démarche. Ceux qui ont eu accès à la culture philosophique, si élémentaire soit-elle, ont recours à des analyses épistémologiques ou à des concepts de philosophie de la nature — avant d'évoquer leurs convictions religieuses. Par contre, dans la culture anglo-saxonne, les arguments religieux sont en première ligne, souvent à partir de la Bible. Si dans le monde anglo-saxon les publications faites sous le vocable « science et religion » sont innombrables, en France les débats s'enracinent dans la philosophie de la nature ou dans l'épistémologie. Comme ces domaines sont dominés par la tradition laïque, les références religieuses et spirituelles liées à la métaphysique traditionnelle occupent une place réduite. Ce choix participe de l'effacement de la tradition chrétienne. C'est dans ce contexte d'érosion de la chrétienté que se situe l'ouvrage de Michel-Yves Bolloré et d'Olivier Bonnassies. Le succès du livre vient de ce qu'il répond à une angoisse du monde traditionnellement chrétien. Il rassure les lecteurs croyants en affirmant que les critiques rationalistes articulées à l'athéisme sont des erreurs, tant sur le plan de l'interprétation des découvertes scientifiques récentes que sur celui des miracles ou événements remarquables. La conviction qui anime les Auteurs est que, loin de détruire « la religion chrétienne », la science en confirme la validité. Leur démarche veut ouvrir une nouvelle étape dans le débat entre science et religion comme l'indique le sous-titre : *L'aube d'une révolution*. Pour ce faire, l'ouvrage se développe en deux parties : la première est fondée sur les sciences ; la seconde argumente à partir de ce qu'on appelle « fait religieux » où le miracle joue un

1. Cf., dans la *Revue des sciences philosophiques et théologiques*, le Bulletin concernant la théologie de la création et les relations entre science et foi.

rôle important. Le titre de l'ouvrage est accrocheur. Trois termes sont mis en série : Dieu, la science et les preuves. En respectant cet ordre, notre critique commencera par la seconde partie — ce qui permettra de voir de quel point de vue les Auteurs s'attachent à ce qui relève des sciences — ; enfin, elle présentera une critique explicitement philosophique. Donc une séquence en trois étapes : 1) Science et religion ; 2) Science et théologie de la création ; 3) Foi et raison.

2. Science et religion

Dans la deuxième partie intitulée « Les preuves hors science », le lecteur est confronté à des questions qui relèvent des thèmes classiques de l'apologétique en chrétienté. Le propos commence par la Bible, s'attache au messianisme en ses racines juives et revisite la figure de Jésus. Les Auteurs accordent une place importante aux miracles avant de critiquer les matérialismes. Dans ce procès, la Bible joue un rôle matriciel, ce qui rattache l'ouvrage à la démarche nord-américaine avec un mode d'argumentation qui n'est pas habituel en France — ce qui explique le succès du livre, car il y a là une réelle nouveauté de la modernité, peut-on dire. La méthode est simple : le lecteur est invité à choisir entre deux séries de propositions exposées de manière concise. Ainsi après l'exposé des enjeux posés par les textes de la Bible, les Auteurs proposent une « délibération finale » et un « verdict » ; le lecteur doit choisir par « honnêteté intellectuelle ». Cette méthode est liée à une certaine « contrainte logique » pour l'interprétation de faits présentés comme exemplaires. Sans être « scientifique », la démarche est présentée comme œuvre de raison face à des faits dont l'ouvrage présente la situation.

2.1. La Bible

Le premier texte cité est le récit de la Genèse. C'est pertinent puisque le débat ouvert s'adresse à des lecteurs qui, pour la plupart, ont lu ce texte biblique habituellement placé en tête des manuels pour la catéchèse. Les auteurs ont le souci d'en montrer la valeur. Plus précisément, ils affirment que le texte n'est pas obsolète, mais, au contraire, fondateur de la science.

Le premier point de l'argumentation est que le monothéisme libère l'esprit de la divinisation de la nature. C'est là un lieu commun en histoire et philosophie des sciences. Il est ici admis sans discussion, alors que les chemins sont différents et que si ce fait est admis, son ampleur et sa portée ne sont pas évaluées de la même manière ni admis par tous.

Le second point est une démarche qui se veut démonstrative par l'inférence suivante : le texte biblique présente des « vérités humainement inatteignables » au moment de son écriture. Une comparaison avec les grandes religions alors dominantes les conduit à dire que les Hébreux savaient plus que ce qui se disait alors. Ensuite, les Auteurs soulignent que leur propos a été confirmé par la science moderne. Enfin, ils relèvent que la liste de ces faits est trop longue « pour qu'il puisse s'agir d'un coup de chance » (p. 327). Cette argumentation est renforcée par le constat que les Hébreux étaient un petit peuple (par rapport aux grandes puissances du temps) et ils interprètent cela comme une attestation que leur savoir ne pouvait venir que grâce à une intervention spéciale de Dieu. Ce que les Auteurs qualifient d'« anomalie » est à leurs yeux une preuve qu'il y a eu une « révélation » de « vérités tombées du ciel » (p. 347). Cette argumentation reste dans le contexte des prédications fondamentalistes nord-américaines comme le montre le chapitre qui met en parallèle « un récit historique » et « une lecture spirituelle ». La rigueur des études d'histoire des religions du Moyen-Orient ancien n'est pas prise en compte. C'est une reprise des propos traditionnels de la catéchèse.

Ce même processus est présent dans le très bref chapitre consacré à Jésus. L'approche se fait par la considération de faits qualifiés d'« étonnants » ou d'« inexplicables ». Les Auteurs relèvent la sagesse des propos de Jésus (p. 392), qui n'est ni un « illuminé » (p. 396) ni un aventurier qui a échoué (p. 399). Pour eux, c'est une preuve que Jésus est plus qu'un « homme extraordinaire » (p. 405) et cela conduit logiquement à la conclusion : « Jésus est le Messie, le Fils de Dieu fait homme » (p. 410). Là encore, rien de bien nouveau dans le domaine de la catéchèse, sinon l'insistance sur la valeur démonstrative de leur présentation. Par contre, la phrase : « Si Jésus est bien le Messie et le Fils de Dieu, c'est que Dieu existe » (p. 413) sonne étrangement à des oreilles philosophiques, car elle donne à entendre que la preuve que Dieu existe est que Jésus soit le messie. C'est là une apologétique selon laquelle l'histoire a valeur de preuve pour des énoncés qui relèvent de la métaphysique. Dans le même esprit, le chapitre suivant traite du peuple juif dont l'existence est présentée comme une preuve, puisque son existence va à l'encontre du « cours naturel » de l'histoire.

Cette argumentation par contraste méconnait que la tradition théologique chrétienne a le souci de montrer que l'action, l'enseignement et la personne de Jésus se comprennent dans la perspective d'un accomplissement. Cette méconnaissance se retrouve dans ce qui est dit de l'État d'Israël. Pour les Auteurs, la victoire israélienne à la guerre dite « des six jours » est un « miracle » qui

prouve que l'explication « matérialiste » est vaine et que l'explication par référence à Dieu s'impose.

2.2. Le miracle

Après leur considération biblique, les Auteurs empruntent une autre grande avenue de l'apologétique : le miracle. Ils s'attachent à ce qui s'est passé à Fatima en 1917 (« Illusion, supercherie ou miracle ? », pp. 449-488) dans un chapitre présenté comme « une enquête décisive ». Tout en considérant que les faits rapportés sont avérés, nous voyons que ce que les Auteurs appellent « miracle » est pensé comme une rupture avec l'ordre de la nature. Pour eux, l'annonce à l'avance d'un signe, le caractère extraordinaire du prodige céleste et l'effet sur les présents (croyants comme incroyants) ont une valeur démonstrative de l'intervention de Dieu. Le caractère exceptionnel est une preuve qu'il a eu une action du Dieu tout-puissant, le seul qui puisse agir à l'encontre des lois de la nature. À nos yeux, cette conception du miracle ne rend pas compte de la tradition chrétienne qui n'entend pas le terme « miracle » au sens de « violation des lois de la nature ».

Pour saint Augustin, le miracle est un signe qui tranche avec l'ordre familier des événements. Ce n'est pas une rupture dans l'action de Dieu, puisque la nature est par elle-même signifiante de l'action et de la présence de Dieu. Pour saint Thomas, qui développe sa théologie dans un contexte plus rationnel, le miracle n'est pas une violation des lois de la nature (ce serait contraire à l'action créatrice de Dieu), mais une action « hors de l'ordinaire » en ce sens que Dieu agit immédiatement. Si le miracle est au sens strict extra-ordinaire, il n'est pas contre la nature. C'est dans la théologie qui a construit le concept de « puissance absolue » que le miracle est présenté comme une action qui s'écarte, voire rompt, avec l'ordre naturel (Aubry, 2018). Ce sens a été repris par les rationalistes (Littré, Larousse...) et il est devenu une banalité. Les Auteurs y restent fidèles. Ils ignorent que le renouveau de la théologie catholique du XXe siècle privilégie la définition augustinienne du miracle comme signe.

Les Auteurs restent dans la perspective du rationalisme qui place le miracle en opposition avec l'ordre de la nature. Ce faisant, ils ne rendent pas compte de ce que la foi chrétienne n'est pas la négation de la nature (et de la science), mais bien l'ouverture sur un accomplissement. La foi s'oppose au mensonge et à l'erreur, non à la science qui explore et rend raison de l'ordre de la création. Elle ajoute une perspective que les Auteurs ne développent pas : l'ouverture sur un accomplissement.

3. La science de l'univers

La première partie correspond bien au titre de l'ouvrage puisqu'elle s'affronte aux connaissances scientifiques traditionnelles en philosophie, depuis les présocratiques et dans la tradition métaphysique où la figure du monde est prise en compte. Le domaine choisi est la cosmologie. Cette vision d'ensemble de la nature est en effet une réalisation dont l'ampleur et la beauté sont prises en compte dans la théologie classique, heureuse de la consonance entre le spectacle céleste et les propos bibliques sur la bonté de Dieu et sur la beauté de son œuvre. De la science de l'univers, les Auteurs retiennent deux éléments : le modèle standard et l'argumentation du principe cosmologique anthropique ou « réglage fin de l'univers » (*fine tuning*). Ce point étant examiné par les autres collaborateurs de ce dossier, voici quelques remarques philosophiques.

3.1. Le modèle standard

Un point essentiel de l'argumentation du livre porte sur la présentation du « modèle standard ». Dans le cadre de leur plaidoyer, les Auteurs rappellent la genèse de ce modèle en accordant une place prépondérante à Georges Lemaître — ce qui est justice. Ils notent la divergence entre Einstein et Lemaître pour fustiger le premier et faire l'éloge du second. Il est bien vrai que lorsqu'Einstein a pris connaissance des travaux de celui qui était « l'abbé Lemaître », il a récusé son modèle d'univers parce qu'il soupçonnait que cette solution était un concordisme avec la lecture traditionnelle de la première phrase de la Bible. De même, les Auteurs insistent sur le fait que le rejet de ce modèle d'univers était lié au refus du catéchisme fondé sur le premier verset de la Bible. Ces reproches sont fondés et il ne faut pas négliger la place de l'idéologie matérialiste dans l'élaboration des modèles cosmologiques récusant le travail de Georges Lemaître (Merleau-Ponty, 1965). Il aurait cependant été juste de noter que Georges Lemaître lui-même était très prudent dans la présentation de ses conclusions[2] et présentait le « point zéro » comme une commodité pour la présentation de sa cosmologie.

Ce n'est qu'après les mesures faites par Penzias et Wilson que l'on a eu une preuve de la validité du modèle d'univers en expansion avec une singularité initiale — habituellement appelé « modèle standard » parce qu'il est assumé par les divers modèles aujourd'hui présentés. Les Auteurs considèrent que cette validation prouve qu'il y a eu un point zéro. Le fait est incontestable à leurs

2. Sur la vie et l'œuvre de Georges Lemaître, cf. Lambert (2000).

yeux. Ils en déduisent que cela établit « scientifiquement » que le monde a eu un commencement, au sens temporel du terme. C'est imposer une interprétation qui relève de la métaphysique.

3.2. Le principe cosmologique anthropique

Il faut d'abord relever la nouveauté philosophique apportée par le modèle standard qui présente un déploiement de l'univers dans l'espace-temps selon un processus de formation des entités qui sont l'objet de la physique. Cette présentation fait de la cosmologie une histoire qui retrace l'histoire des changements à partir d'un état initial sur lequel les scientifiques gardent une prudente réserve, faute d'observation possible, mais aussi parce qu'ils se trouvent alors devant la nécessité de renouveler certains concepts de la physique. Pour mieux comprendre cette histoire, Brandon Carter a proposé le terme de principe anthropique afin de souligner que la compréhension de cette histoire peut être affinée à partir d'un fait : la présence de l'humanité. Cette présence n'aurait pu advenir si l'état initial avait été différent et les étapes ordonnées de manière différente. Ce principe permet de souligner l'unité de l'univers et de légitimer les principes fondateurs de la cosmologie. Il a sa place dans la recherche scientifique, surtout quand elle s'affronte à la question de l'existence d'autres univers.

Plusieurs auteurs ont repris cet argument pour introduire une finalité au principe du devenir cosmologique. Pour eux, cette situation ne peut être que le fruit d'une intention présente « au commencement » où il y a eu un « réglage fin » (*fine tuning*). Celui-ci suppose la présence d'une pensée qui envisage et prévoit la présence de la vie et, avec l'humanité, l'avènement de la pensée. S'il est légitime de présenter les choses ainsi, il est clair que ce propos ne relève pas de la science au sens actuel du terme. Cette interprétation relève d'une autre démarche de la pensée : ce n'est plus de la physique, mais de la métaphysique. Les Auteurs ne notent pas ce changement dans l'ordre de la pensée lorsqu'ils affirment que le « réglage fin » est une preuve de l'existence d'un Dieu créateur qui, seul, pouvait concevoir un tel projet et accompagner sa réalisation. Pour eux, la science implique la reconnaissance d'une intelligence créatrice active dès l'origine de l'univers, le « *fine tunnig* » étant une preuve de l'existence de Dieu. Pour eux, cette preuve s'impose à la raison — ce qui est bien rapide aux yeux des philosophe et théologiens qui pensent que cela relève de la métaphysique (Lambert & Demaret, 1994).

3.3. Le commencement

Les Auteurs reçoivent le concept de création dans son sens habituel : « créer, c'est faire à partir de rien ». Ils ne prennent pas le temps de relever les limites de l'emploi du verbe « faire » qui donne à penser que la création est une transformation analogue à celle dont les humains ont l'expérience et la pratique. Dans le champ conceptuel donné par l'action humaine, les Auteurs donnent une importance majeure au « point zéro » qui, selon eux, est démontré par le modèle standard de la cosmologie. Sur ce point, les Auteurs commettent une grave erreur, au plan métaphysique, mais aussi du point de vue de l'histoire des idées scientifiques.

Les Auteurs font l'éloge de Georges Lemaître, mais ils ignorent manifestement que lorsqu'il a présenté sa solution en 1927 et en 1930, il avait une vive conscience que ce « modèle » ne devait pas être interprété comme l'affirmation du « premier instant » de la création. Ce n'était pas seulement parce que l'on n'en avait pas encore de vérification expérimentale[3], mais également en raison du statut de ce modèle et de son irréductible différence avec un énoncé théologique. Les Auteurs auraient dû mentionner que Georges Lemaître a vivement réagi à l'interprétation développée par un mathématicien (Edmond Whitaker) qui voyait dans le « point zéro » la confirmation du texte biblique. Il le fit d'autant plus vivement que ce membre de l'Académie pontificale des sciences avait influencé le pape Pie XII. Celui-ci, malgré les prudences d'usage, avait dit voir dans ce modèle une heureuse coïncidence avec le « *fiat lux* » du texte de la Bible latine. Georges Lemaître, avec tout le respect qu'il avait pour le pape, est alors intervenu pour éviter que ce soit une occasion pour les scientifiques athées de tourner en dérision les conceptions chrétiennes (Lambert, 2000, pp. 275-292).

Donner un rôle fondamental au « point zéro » montre que les Auteurs ignorent que la théologie chrétienne porte deux présentations divergentes de la durée du monde. Pour l'une, l'acte créateur est nécessairement lié à la notion de commencement. Pour l'autre, l'acte créateur, comme tel, n'implique pas un commencement temporel, puisque Dieu, « l'Éternel »[4] (selon une invocation

3. Cette vérification expérimentale ne sera donnée qu'en 1965 par les observations par radar et par la mesure de la température de l'Univers qui correspond à celle que prévoit le modèle standard.
4. Ce mot, entendu en toute rigueur, qualifie ce qui est sans commencement ni fin, alors que le mot « éternel » désigne ce qui n'est pas temporel, c'est-à-dire sans durée, sans passage du temps. L'éternité est pur instant, où il n'y a ni avant, ni après. C'est un pur « maintenant », une absolue « contemporanéité ».

traditionnelle), peut créer un monde « sans commencement ni fin » qu'il faut qualifier de « sempiternel ». Les Auteurs ignorent manifestement cette diversité. Ils auraient dû noter qu'ils adoptaient une tradition théologique, héritant de saint Bonaventure et de Duns Scot[5]. Ils auraient dû reconnaitre que ce n'est pas celle de Georges Lemaître, formé en théologie à l'école thomiste impulsée par le cardinal Mercier à Louvain. En notant cette diversité, les Auteurs auraient évité un contresens sur le modèle standard ; ils auraient mieux situé leur argumentation face aux implications philosophiques de la cosmologie. Ils n'auraient pas fait de contresens sur l'œuvre de Georges Lemaître qui dissocie le concept de création de celui de commencement temporel[6]. Cette précision a pour effet de valoriser l'affirmation que le monde a eu un commencement. En lui donnant une signification théologique, les Pères de l'Église ont étroitement lié l'acte créateur au salut, à la Plénitude qui viendra à la fin des temps. Elle ne repose pas sur le premier mot de la Genèse, dont la traduction habituelle, « au commencement », n'est pas satisfaisante, tant dans la version hébraïque[7] que dans la version grecque, « *En Archè* », qui dit bien davantage en désignant le principe ou « raison d'être ». Cette remarque montre que l'on ne peut entrer en apologétique sans vigilance philosophique.

4. Raison et foi

Les remarques précédentes ont montré la limite de l'argumentation apologétique développée dans le livre ; c'est un concordisme qui ne respecte pas la nature des disciplines, ni la science, ni la philosophie, ni la théologie. Cela entraîne une frustration. En effet, les Auteurs accèdent à des points traditionnels. Ils retrouvent l'argumentation métaphysique et théologique occidentale pour qui il existe deux chemins rationnels pour établir l'existence de Dieu. Le premier est marqué par la personnalité d'Anselme de Cantorbéry, le second par l'autorité de saint Thomas d'Aquin. Hélas, arrivés à ces points stratégiques, ils n'entrent pas dans la démarche avec rigueur.

5. Elle a été présentée par un auteur de référence dans le monde chrétien du XXe siècle, à savoir Claude Tresmontant (1970).
6. Sur ce point, voir notre essai sur la différence entre « origine » et « commencement » à propos de l'univers, de l'humanité et du mal (Maldamé, 2014). Ce point est un élément très important dans le célèbre livre d'Antonin-Dalmace Sertillanges, *L'Idée de création et ses retentissements en philosophie* (1945).
7. Cf. Salfati (2021) qui affirme d'emblée : « En hébreu, le mot *Bereshit*, premier mot de la Torah hébraïque n'a pour sa part jamais signifié "Au commencement" » (p. 9).

4.1. La perfection de Dieu

La première démarche repose sur le syllogisme selon lequel Dieu étant parfait, aucune perfection ne saurait lui manquer, à commencer par la plus fondamentale : exister réellement. Une grande part de la philosophie occidentale s'est développée dans cette tradition, emblématiquement en France avec Descartes et en Allemagne avec Hegel. Elle a été reprise par Kurt Gödel qui l'a associée à ses travaux de logicien. Cette approche fonde une métaphysique spiritualiste. Les Auteurs l'assument. Mais ils confondent ce qui est abstrait, et donc intemporel, avec ce que la théologie appelle le surnaturel. On le voit clairement dans les développements consacrés à Einstein et Gödel. La présentation de ces auteurs laisse le lecteur dans l'indécision puisque le « dieu » dont ils parlent reste dans la généralité des termes « esprit » ou « divin ».

Corrélativement, les concepts religieux sont utilisés pour répondre aux questions liées à la vision du monde donnée par la science, tant en cosmologie qu'en biologie. Le souci des Auteurs est de proposer une réhabilitation de l'*homo religiosus* face à la sécularisation. Ils veulent montrer que les découvertes scientifiques s'inscrivent dans l'héritage biblique. Hélas les exemples donnés ne sont pas resitués dans leur tradition : l'héritage juif (via Spinoza) d'Einstein et le thomisme de Georges Lemaître.

4.2. La spécificité de la théologie

Georges Lemaître est un modèle pour la manière d'articuler la foi chrétienne et la science moderne. Il ne confond pas les registres de langage : les concepts scientifiques prennent leur place au sein d'un propos strictement scientifique. Il s'impose également non seulement par la rigueur de l'expression mathématique, mais encore par sa précision dans l'usage des concepts : en premier lieu en ce qui concerne la notion de « point zéro » qui est présentée comme une figure de représentation pour un modèle d'univers et non comme le moment initial de la création[8]. De même, la théologie de l'action créatrice de Dieu ne se

8. « Nous devons affronter la valeur nulle du rayon de l'Univers. Nous pourrions appeler cet événement un commencement. Je ne dis pas une création. D'un point de vue physique, c'est un commencement dans le sens où si quelque chose est arrivé avant ce commencement, cela n'a aucune influence observable sur le comportement de notre Univers, car toute caractéristique de la matière avant ce commencement a été complètement perdue par l'extrême contraction au zéro théorique [...]. D'un point de vue physique, tout se passe comme si le zéro théorique était réellement un commencement. La question de savoir si c'était vraiment un commencement ou plutôt une création — quelque chose débutant à partir de rien — est une question philosophique qui ne peut être résolue par

limite pas à la considération d'un tout premier commencement : elle concerne le présent. Cette affirmation repose sur une démarche spécifiquement théologique qui reconnaît une action créatrice qui n'est pas transformation, mais que l'intelligence humaine présente comme une production en usant d'un jeu de négation pour en spécifier l'originalité.

Hélas, les Auteurs s'enferment dans une certaine forme de nivellement. Leur démarche apologétique n'entre pas résolument dans une démarche réflexive. On le voit dans leur manière d'utiliser la notoriété des scientifiques. Cette méthode d'argumentation paraît clairement dans le chapitre constitué par une longue série de citations des savants, sans qu'il y ait une analyse de leur démarche personnelle. Il en est ainsi dans le chapitre 12 qui conclut l'exposé scientifique : « Ce qu'en disent les grands savants eux-mêmes : 100 citations essentielles ». C'est un florilège hors contexte. Si le lecteur est impressionné par l'abondance de ces propos et d'une certaine manière leur originalité dans le ton, il ne peut pas éviter de s'interroger sur l'ampleur du champ religieux évoqué et sur la mise au même plan de références comme s'il n'y avait pas les divergences entre le christianisme, le bouddhisme, le judaïsme ou le rationalisme. N'ayant pas lu la grande majorité des personnes citées, je ne peux en faire la critique. Je relève cependant que la citation de Christian De Duve ne cadre pas bien avec les ouvrages où il explicite les raisons de la distance prise avec l'éducation reçue chez les jésuites. Il en va de même pour les deux auteurs cités plus amplement, Einstein et Gödel, au terme de la première partie[9].

4.3. Quelle apologétique ?

Le grand succès d'édition de l'ouvrage de MM. Bolloré et Bonnassies rappelle que la foi chrétienne est invitée à répondre aux questions qui naissent de la science. Elles ne sont pas indépendantes d'une conception générale de la culture et des rapports entre science et religion. Le livre apporte au lecteur francophone du neuf dans la mesure où il introduit la méthode qui domine l'apologétique nord-américaine. Les auteurs cités comme témoins ne sont pas présentés de manière satisfaisante, en ce sens que leur argumentation n'est pas située dans sa dynamique propre. De même pour les auteurs agnostiques : l'ouvrage ne prend pas en compte les fondements de leur rationalisme. Faute de ce recul, l'apologie manque de force.

---

des considérations physiques ou astronomiques. » (Lemaître cité dans Lambert, 2000, p. 278).

9. « En quoi croyait Einstein » et « En quoi croyait Gödel » (pp. 296-320).

5. Pour finir

Au terme de cette critique, il est important de relever ce dont témoigne le succès du livre. C'est le signe que la question des rapports entre « science et foi » ou « science et religion » est ouverte. L'ouvrage invite donc les théologiens à assumer une vision de la nature en accord avec les connaissances scientifiques. Cela suppose une grande créativité. De cette exigence, un modèle est toujours présent. Au milieu du XXe siècle, Teilhard de Chardin a répondu à cette attente ; en lui, il a uni une grande compétence scientifique et une foi ardente, mais il a aussi su créer un vocabulaire neuf qui permettait plus qu'un dialogue entre science et foi : une mutuelle fécondité. La vision du monde ayant changé, une nouvelle étape demande à être franchie. Cela ne se fera pas sans peine. Les limites relevées dans notre analyse constituent donc une invitation à renouveler le dialogue entre science et foi.

Bibliographie

Aubry, G. (2018). *Archéologie de la puissance. Tome 2 : Genèse du Dieu souverain*. (Bibliothèque d'histoire de la philosophie). Paris : Librairie philosophique J. Vrin.

Maldamé, J.-M. (2014). *L'atome, le singe et le cannibale : enquête théologique sur les origines*. Paris : Les éditions du Cerf.

Merleau-Ponty, J. (1965). *Cosmologie du XXe siècle : étude épistémologique et historique des théories de la cosmologie contemporaine*. (Bibliothèque des idées). [Paris] : Gallimard.

Salfati, P.-H. (20). *Le premier mot, « Au commencement », Ἐνέσίσ ת'שארב . : histoire d'un contresens*. Paris : Fayard.

Sertillanges, A.-D. (1945). *L'idée de création et ses retentissements en philosophie*. Paris : Aubier Éditions Montaigne.

Tresmontant, C. (1970). *Sciences de l'univers et problèmes métaphysiques*. Paris : Seuil.

Revue des Questions Scientifiques, 2022, 193 (1-2) : 49-68

À 4 mains... minimum !

Des probabilités négatives ?

Jean-Pierre Fréché
Université de Namur
Département Sciences Philosophies Sociétés
Espace philosophique de Namur (Esphin)
jpvrgf@hotmail.com

Avec la complicité pédagogique de
Pierre Devos

Résumé. – Jusqu'en 1932, les probabilités, tant en mathématique qu'en physique, étaient *positives*. Mais cette année-là, Wigner publia un article qui introduisait en physique statistique quantique une distribution de probabilités prenant aussi bien des valeurs *négatives* que des valeurs positives. Le texte qui suit établit d'abord brièvement un parallèle entre l'avènement des nombres négatifs et des nombres complexes au XVIe siècle d'une part, et l'avènement des probabilités négatives au XXe siècle d'autre part. Puis il décrit un « dispositif de pensée » qui propose des probabilités positives et négatives ; il en donne une critique. Ensuite, il expose une expérience plus réelle — diffusion de particules le long d'une tige infinie — qui fait apparaître des probabilités négatives et spécifie le type d'événements auxquelles elles sont attachées dans ce cas. Une comparaison est faite avec le « dispositif de pensée ». Enfin, il explique en quoi la distribution de Wigner étend à la mécanique quantique la distribution classique de Liouville attachée à l'espace de phase de la physique statistique classique. Il conclut en décrivant les pistes sur lesquelles s'est engagée la recherche dans le domaine des probabilités négatives et revient sur le parallèle initialement établi avec les nombres négatifs et les nombres complexes.

Abstract. – Until 1932, in both mathematics and physics, probabilities were *positive*. In the course of that year, however, Wigner published an article that introduced a probability distribution which incorporated *negative* values along with positive ones into quantum statistical physics. The present article opens by drawing a succinct parallel between the emergence of negative numbers and complex numbers in the 16th century, on the one hand, and the advent of negative probabilities in the 20th century, on the other hand. It then goes on to describe a "thought model" offering positive and negative probabilities, which is evaluated. Next, a more concrete experiment is addressed — the diffusion of

particles along an infinite line —, which reveals the negative probabilities and specifies to which events these are linked in this particular case. This experiment is then compared to the "thought model". Lastly, an explanation of how the Wigner distribution extends to quantum mechanics, through the standard Liouville distribution associated with the phase space of mainstream statistical physics, is presented. The conclusion expounds upon the various paths of research within the field of negative probabilities, and revisits the initial parallel established between negative numbers and complex numbers.

Mots-clés. – Feynman — Quasi-probabilité — Moyenne — Szilárd — Wigner

Plan de l'article

1. **Introduction**
2. **Un dispositif de pensée pour introduire des probabilités négatives**
3. **Diffusion de particules étrangères le long d'une tige infinie**
4. **La distribution de quasi-probabilités de Wigner**
5. **Conclusion**

1. Introduction

Chacun sait que la probabilité d'occurrence d'un événement est un nombre positif compris entre 0% et 100%. La proposition suivante :

> « l'événement E a une probabilité de 30 % de se produire ; ou bien : a 30% de chances de se produire »

est spontanément comprise par le sens commun.

Soit une collection d'événements $E_1, E_2, \ldots$, dans laquelle figure l'événement impossible (noté $\varnothing$). Il est supposé que dans le contexte de l'expérience en cours, cette collection épuise tous les événements qui peuvent survenir : dès qu'un événement se produit dans ce contexte, c'est nécessairement l'un de ceux-là, et chacun se produira, sauf $\varnothing$.Dans la mathématisation des probabilités dite « de Kolmogorov »[1], on admet par définition de la probabilité d'un événement E qu'elle est comprise entre 0 et 1 et que la probabilité de l'événement impossible vaut 0. Par exemple si la probabilité vaut 0.3, alors l'événement E a 30 % de chances de se produire. D'autres axiomes sont également introduits comme celui selon lequel si A et B sont deux événements incompatibles (i.e. l'occurrence de l'un exclut l'occurrence de l'autre), alors la probabilité de l'événement (A ou B) est la somme des probabilités de A et de B. *L'important est que la probabilité est toujours un nombre positif.*

1. Andreï Nikolaevitch Kolmogorov (1903-1987), mathématicien russe.

Or, en 1932, Eugene P. Wigner (1902-1995, Nobel 1963), cherchant à étendre à la mécanique quantique les méthodes statistiques classiques articulées autour de la *distribution de probabilités dite « de Liouville »*, fut amené à introduire une distribution de probabilités radicalement neuve dont il s'est avéré qu'elle prenait des valeurs aussi bien positives que négatives, et qui porterait désormais son nom : *la distribution de quasi-probabilités de Wigner*. (On décrira plus loin en quoi consistent ces deux distributions et pourquoi ce « *quasi* »).

Si le nom de Wigner a été clairement associé, dans le cursus universitaire habituel, à la théorie des groupes et à ses applications à la physique atomique, à la chimie théorique, à la physique des particules élémentaires et à la relativité, en revanche on n'évoquait jamais, jusqu'à un passé récent, son œuvre en physique statistique. Son nom n'apparaît ni dans le célèbre traité de physique statistique de Landau et Lifschitz ni dans celui de Kittel. Peut-être est-ce parce que les distributions de Bose-Einstein et de Fermi-Dirac s'étaient imposées d'emblée, la première associée aux bosons et la seconde aux fermions (respectivement particules de spin entier ou demi-entier). Il est difficile d'entrevoir, à près d'un siècle de distance, l'orientation que pressentait Wigner lorsqu'il formula sa distribution, et quel avenir il lui entrevoyait. Et ce d'autant plus que Wigner semble ne s'être consacré par la suite qu'à de tout autres questions. Il faut rappeler qu'il a également été occupé par l'urgence du Manhattan Project au cours de la dernière guerre mondiale. Mais deux éléments sont sûrs : premièrement, Wigner voulait étendre à la physique quantique le calcul des valeurs moyennes, comme cet article le montrera ; deuxièmement on assiste aujourd'hui à un net regain d'intérêt pour sa distribution. À ce regain d'intérêt sont associés de nombreux noms, dont celui de Maurice de Gosson, comme la bibliographie en fin d'article en témoigne. La piste qu'a ouverte Wigner est donc aujourd'hui largement explorée.

Ayant découvert cette distribution, Feynman avoua qu'il en avait ressenti un « choc culturel », mais pour enchaîner aussitôt en affirmant qu'il s'était familiarisé avec le concept.

Question du candide. — Qui est Feynman ?

Réponse. — Richard Phillips Feynman (1918-1988, Nobel 1965) est un des plus grands physiciens du XXe siècle, qui s'est illustré non seulement en comptant au nombre des pères fondateurs de l'électrodynamique quantique, mais aussi par le rayonnement de son cours connu comme les « Feynman Lectures on Physics ».

2. Un dispositif de pensée pour introduire des probabilités négatives

Comme la suite de cet article le montrera, le statut octroyé par Feynman aux probabilités négatives n'est pas sans rappeler celui octroyé, lors des premiers temps de leur apparition au XVIe siècle, aux nombres négatifs : de simples intermédiaires de calcul, *ontologiquement vides et problématiques*, comme le furent, à la même époque, les racines carrées de nombres négatifs tels que $\sqrt{-15}$ (ou $\sqrt{-1}$, que Gauss, vers 1800, popularisera sous le nom d'« unité imaginaire » et notera i). On ne le sait plus aujourd'hui, mais au XVIe siècle, un nombre négatif n'était pas « un être en soi » comme l'était un nombre qu'on qualifierait aujourd'hui de « positif » ; il n'était qu'un artifice intervenant dans un calcul. En transposant à nos notations contemporaines, il eût été, à cette époque, inconcevable d'écrire ceci :

$$7 - 3 = 7 + (-3).$$

Parce que (–3), cela n'existait pas. Ce n'est pas le lieu, ici, de retracer l'histoire du long cheminement qui a abouti à considérer les nombres négatifs et les nombres complexes comme des « êtres en soi », des entités autonomes, mais l'évoquer n'est pas inutile. Car on pourrait établir un parallèle entre les pionniers, Girolamo Cardano (1545) et Rafaelo Bombelli (1572), qui ont introduit ces nombres nouveaux, comme par la porte de service, dans le corpus déjà riche d'une arithmétique élaborée exclusivement sur le théâtre des nombres positifs, et ces deux autres pionniers, Eugene P. Wigner et Leó Szilárd, dont les travaux ont fait émerger le concept innovant de probabilité négative dans l'architecture imposante de la physique statistique. De même qu'il aura fallu la clairvoyance et l'ingéniosité d'un Caspar Wessel (1797) et d'un Jean-Robert Argand (1806) pour frayer la voie d'une habilitation ontologique des nombres négatifs et des nombres complexes, il en faut tout autant aujourd'hui à ceux qui élaborent ce domaine inédit de la statistique quantique et de son ontologie sous-jacente. On peut mentionner parmi d'autres les noms de Maurice de Gosson, Andreï Khrennikov, T. Ya Azizov et I. S. Yokhvidov.

Pour illustrer le caractère d'intermédiaires de calcul que pourraient revêtir les probabilités négatives, imaginons le dispositif observationnel que voici. Deux cylindres sont divisés en secteurs qui déterminent sur leurs parois latérales des zones colorées[2].

2. Ce dispositif est une extension de la roulette de Feynman (1987). Il s'en distingue par le fait qu'une seule roulette est remplacée par deux cylindres. Cette modification facilitera la comparaison avec l'exemple de la tige qui suivra.

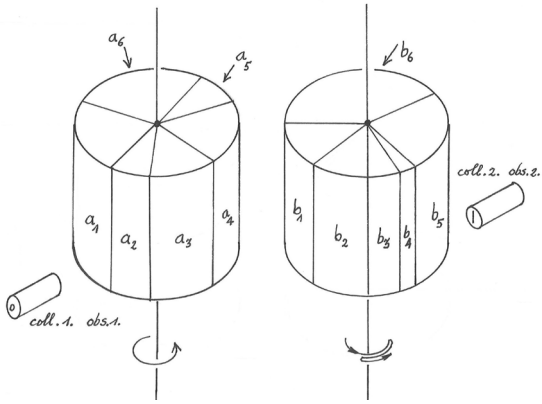


Fig. n°1.
Le dispositif observationnel.

a_1 et b_1 : blanc ; a_2 et b_2 : rouge ; a_3 et b_3 : vert ; a_4 et b_4 : bleu ; a_5 et b_5 : ocre ; a_6 et b_6 : brun.

Source : composition personnelle.

Ils sont mis en rotation à vitesse angulaire constante autour de leur axe. Les deux vitesses angulaires sont égales. Le *second* cylindre peut brusquement inverser le sens de sa rotation ; en outre, ses parois colorées sont faites de nombreux prismes pouvant pivoter instantanément autour d'un axe parallèle à l'axe de rotation : figures n°2, où le second cylindre est vu par le dessus (à gauche), avec le détail (à droite) de quelques-uns de ses prismes, toujours vus par le dessus, et la physionomie de l'un d'entre eux (au bas). R est l'axe de rotation du cylindre et P l'axe de pivotement d'un des prismes.

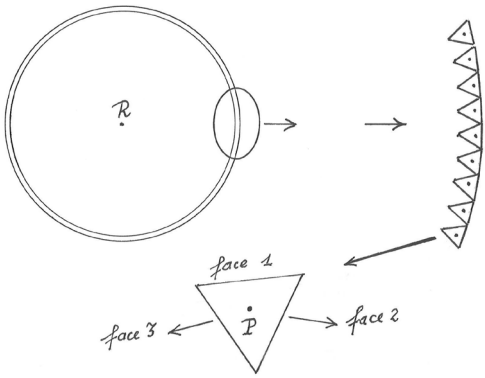


Fig. n°2.
Le cylindre et ses prismes.

Source : composition personnelle.

Les trois faces des prismes portent des couleurs différentes ; un simple pivotement instantané de quelques prismes contigus et une zone blanche peut devenir entièrement ou partiellement bleue — et la couleur bleue peut empiéter sur des zones adjacentes à la zone qui était blanche. Cependant chaque fois qu'un tour complet est achevé, les prismes reprennent leurs positions initiales, les parois latérales leur distribution initiale de couleurs et ce second cylindre le sens initial de sa rotation.

Deux observateurs sont préposés, l'un au premier cylindre et l'autre au second. Ils disposent chacun d'un collimateur formé d'un tube avec œilleton d'un côté et fente de l'autre côté, la fente étant tournée vers les parois de leur cylindre. Un mécanisme aléatoire obture une fente tandis que l'autre reste libre. Le mécanisme est conçu de telle façon que la probabilité d'obturation de la fente 1 soit 4 fois plus élevée que la probabilité d'obturation de la fente 2. Soit P_1 la probabilité que l'observateur 1 dispose d'un collimateur dont la fente est libre et P_2 la probabilité analogue pour l'observateur 2. Puisqu'à chaque instant une et une seule fente est libre, on a

(1) $$P_1 + P_2 = 1 \quad \text{et} \quad 1 - P_1 = 4\,(1 - P_2)$$

On en déduit que

(2) $$P_1 = 0.2 \quad \text{et} \quad P_2 = 0.8$$

Les secteurs par lesquels les deux cylindres sont divisés ont les ouvertures angulaires figurant dans les deux tableaux que voici, où c = blanc, rouge, vert, bleu, ocre, brun :

Secteur	Angle	p_{c1}
a_1 *blanc*	75°	0.208
a_2 *rouge*	30°	0.083
a_3 *vert*	45°	0.125
a_4 *bleu*	60°	0.167
a_5 *ocre*	30°	0.083
a_6 *brun*	120°	0.333

Secteur	Angle	p_{c2}
b_1 *blanc*	45°	0.125
b_2 *rouge*	45°	0.125
b_3 *vert*	30°	0.083
b_4 *bleu*	15°	0.042
b_5 *ocre*	75°	0.208
b_6 *brun*	150°	0.417

Tableaux n°1 & 2.
Les secteurs et leurs couleurs.

Une troisième colonne a été ajoutée à ces deux tableaux : ce sont les probabilités p_{c1} et p_{c2} (c pour couleur) que les observateurs 1 et 2 observent la couleur c lorsque sont libres les fentes de leurs collimateurs. Ces probabilités ont été calculées comme suit, par exemple pour la couleur c = ocre :

$$p_{ocre} = 30° / 360° = 0.083 \qquad \text{et} \qquad p_{ocre2} = 75° / 360° = 0.208$$

On notera que

$$\sum_c p_{c1} = 1 \quad \text{et} \quad \sum_c p_{c2} = 1$$

comme il se doit.

Il s'agit là de probabilités *conditionnelles* ; par exemple,

$p_{\text{ocre 1}}$ = probabilité que l'observateur 1 voit ocre <u>*si*</u> sa fente est libre.

Quelle est à présent la probabilité que la couleur ocre soit observée ? C'est la probabilité que cette couleur soit en face de la fente 1 et que celle-ci soit ouverte plus la probabilité que cette couleur soit en face de la fente 2 et que celle-ci soit ouverte :

$$p_{ocre} = (0.2 \times 0.083) + (0.8 \times 0.208) = 0.183$$

Plus généralement, pour toute couleur c :

(3a) $$p_c = P_1 p_{c1} + P_2 p_{c2} \quad \text{ou} \quad p_c = \sum_k P_k p_{ck}$$

D'où le tableau que voici :

couleur c	p_c
blanc	0.142
rouge	0.117
vert	0.092
bleu	0.070
ocre	0.183
brun	0.4

Tableau n°3.
Probabilités d'observation de chaque couleur.

On notera (aux erreurs d'arrondis près) que $\sum_c p_c = 1$ comme il se doit.

Le dispositif présenté ici peut paraître artificiel et il l'est effectivement, comme l'est la roulette de Feynman (voir la bibliographie). Mais son rôle n'est pas de refléter un élément de la réalité ; c'est plutôt une « expérience de pensée » destinée à fournir le moyen d'introduire des probabilités négatives. Supposons en effet à présent que, par analogie avec des expériences physiques *réelles* qu'il faudra élucider par la suite, l'une ou l'autre des probabilités du tableau 2 puisse devenir négative, mais de façon que la somme reste égale à 1. Cela va imposer à des probabilités du même tableau de prendre des valeurs plus élevées, voire même *supérieures à 1*.

Cette supposition est-elle si absurde ? Nullement. Il suffira d'attribuer une probabilité, *négative par convention*, à l'observation de telle couleur lorsque le

second cylindre a inversé le sens de sa rotation et que les prismes qui constituent sa paroi latérale ont pivoté en nombre adéquat. Soit par exemple le tableau n°2bis, où figure le sens de la rotation du cylindre 2.

Secteur	Angle	Sens de rotation	p'_{c2}
b_1 *blanc*	45°	horlogique	0.125
b_2 *rouge*	45°	horlogique	0.125
b_3 *vert*	30°	horlogique	0.083
b_4 *bleu*	15°	horlogique	0.042
b_5 *ocre*	– 60°	anti-horlogique	– 0.167
b_6 *brun*	285°	horlogique	0.792

Tableau n°2bis.
Une première probabilité négative.

On notera que $\sum_c p'_{c2} = 1$ comme annoncé.

Cependant, si on calcule la probabilité que la couleur ocre ait été observée par l'un ou l'autre des observateurs, on est en droit de s'attendre à un nombre situé entre 0 et 1. Or,

$$\begin{aligned} p'_{ocre} &= (0.2 \times 0.083) + (0.8 \times (-0.167)) \\ &= -0.117 \end{aligned}$$

Étonnant et embarrassant, du moins si on se réfère à deux cylindres tournant dans le même sens, ce qui n'est pas à tout instant le cas du second. Notons que si les valeurs de P_1 et P_2 étaient interverties, on aurait :

$$p'_{ocre} = (0.8 \times 0.083) + (0.2 \times (-0.167) = 0.033$$

ce qui ne créerait aucun problème.

Calculons les probabilités pour les autres couleurs et consignons-les dans un tableau :

Couleur c	Probabilité p'_c
blanc	0.142
rouge	0.117
vert	0.091
bleu	0.067
ocre	– 0.117
brun	0.7

Tableau n°3bis.
Une embarrassante probabilité négative.

On notera cependant que $\sum_c p'_c = 1$ comme il se doit.

La probabilité négative pour l'observation de la couleur ocre découle d'une modification arbitraire que nous avons imposée aux axiomes de Kolmogorov.

Question du candide. — Le nom de Kolmogorov apparaît ici pour la deuxième fois. En quoi consistent ces axiomes auxquels vous faites référence ?

Réponse. — Ce sont les axiomes sur lesquels est élaborée la théorie actuelle des probabilités, axiomes qui utilisent la théorie des ensembles. Tout événement est associé à un ensemble. Deux événements incompatibles sont associés à deux ensembles sans élément commun. Soit A et B deux événements associés aux ensembles A et B. (A ou B) constitue un autre événement qui sera représenté par $A \cup B$, la réunion des deux ensembles. (A et B) constitue encore un événement qui sera représenté par $A \cap B$, leur intersection, etc. L'un des axiomes a déjà été évoqué plus haut : *la probabilité d'un événement est toujours positive, comprise entre 0 et 1*. La probabilité de l'événement impossible est 0 par définition ; la probabilité de l'événement certain est 1, toujours par définition, etc.

Quelle est cette « modification arbitraire » évoquée plus haut ? Elle consiste en ceci que nous avons *défini* des probabilités comme *négatives* lorsque le second cylindre a inversé le sens de sa rotation. En adoptant cette définition, nous sommes sortis du domaine canonique des probabilités, celui de Kolmogorov.

Il n'aura échappé à personne qu'on aurait pu procéder autrement, en accord cette fois avec Kolmogorov. Il suffisait de noter que lorsque le cylindre 2 inverse le sens de sa rotation et parcourt, par exemple, 60° dans ce sens avant de reprendre le sens initial, un cycle complet ne correspond plus, comme pour le premier cylindre, à 360°, mais à 360° + (2 × 60°) = 480° ! On pourrait alors redéfinir toutes les probabilités comme positives avec la définition suivante (donnée ici pour la couleur rouge) :

$$p_{rouge2} = 45° / 480° = 0.094$$

Dans le tableau n°2, en regard de b_5 *ocre*, il faudrait alors écrire

$$195°(75° + (2 \times 60°)).$$

D'où la question : pourquoi ne pas avoir utilisé cette approche, canoniquement irréprochable ?

La raison en est simple : cette approche ne pouvait être utilisée comme « expérience de pensée » amenant le concept de probabilité négative. Nous allons d'ailleurs découvrir dans un instant, en traitant un autre exemple plus

réel, que même en adoptant une démarche parfaitement canonique, on voit apparaître des probabilités négatives.

Le « dispositif expérimental » que nous avons décrit plus haut est inspiré de la roulette de Feynman. Il est toutefois nettement plus élaboré et se prête mieux à une comparaison avec l'exemple qui va suivre, où nous verrons que lorsque des probabilités sont négatives — dans un sens à préciser — elles sont relatives à des événements inobservables ou même ne sont attachées à aucun événement. Tout comme la roulette de Feynman, notre dispositif a pu apparaître comme tristement artificiel, et il l'est effectivement parce qu'il nous parle de « probabilités » qui ne sont pas celles de Kolmogorov. Or, voici une situation physique, bien plus réelle, où des probabilités négatives apparaissent.

2. Diffusion de particules étrangères le long d'une tige infinie

Soit une tige de section $S = \pi a^2$ et de longueur L réputée infinie (en pratique, $L >> a$).

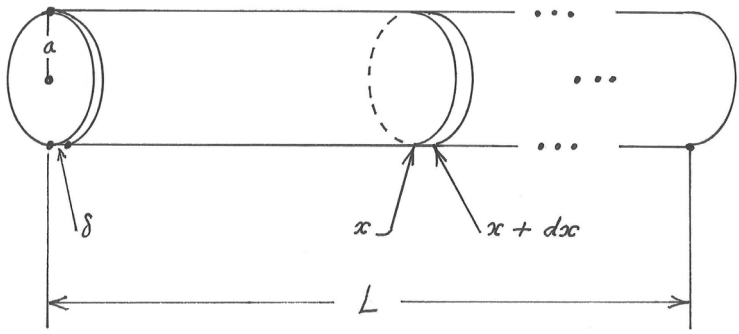


Fig. n°3.
Particules en diffusion sur une tige infinie.
Source : composition personnelle.

Un très grand nombre N de particules étrangères au matériau de la tige sont initialement (i.e. à l'instant $t = 0$)

1. soit tassées à l'origine sur une étroite bande de longueur δ (qu'on pourrait idéaliser à $\delta = 0$),
2. soit réparties sur toute la longueur selon une fonction $f(x)$ continue, ce dont la signification va être spécifiée ci-dessous.

Ces particules vont diffuser (i.e. se répandre) tout le long de la tige.

Soit $\rho(x,t)$ la densité volumique de probabilité de présence d'une des particules. Dans le cas (a), on aura $\rho(x,0) \cong \delta(x)$: c'est la distribution de Dirac ; et on aura dans le cas (b) $\rho(x,0) = f(x)$.

Question du candide. — Qu'est-ce que la distribution de Dirac $\delta(x)$?

Réponse. — Ce n'est pas vraiment une fonction, mais plutôt la limite d'une fonction. Soit une fonction $D(x)$ qui est nulle partout sur l'axe des x, sauf sur une zone très étroite située entre x et $x + \varepsilon$, où elle présente l'aspect d'un pic, de telle sorte que la surface sous ce pic soit égale à 1. Imaginons de faire décroître ε tandis que croît la hauteur du pic, en veillant à ce que la surface reste égale à 1. Lorsque cette hauteur atteint l'altitude des anges, $D(x)$ devient $\delta(x)$ la « distribution de Dirac ». On simplifie souvent en admettant qu'elle vaut ∞ en x et 0 partout ailleurs. On peut montrer, en adoptant une écriture simplifiée, que

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(\alpha - x) g(\alpha) d\alpha = g(x)$$

(Dirac (1902-1984) est un des pères fondateurs de la Mécanique quantique.)

On montre que :

$$\frac{\partial^2 \rho(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\gamma} \frac{\partial \rho(x,t)}{\partial t}$$

Où γ est un coefficient qui dépend du matériau de la tige.

La démonstration serre de près celle qui conduit à l'équation classique décrivant la propagation de la chaleur le long d'une tige infinie. Décomposons $\rho(x,0)$ et $\rho(x,t)$ en séries de Fourier[3] :

3. L'idée de Fourier était d'exprimer une fonction *périodique* sous la forme d'une somme infinie de termes sinusoïdaux, de type $sin(n\frac{\pi x}{L})$ où L était la période et n un entier. Les termes successifs étaient appelés « harmoniques de rang n ». Toute fonction non périodique définie sur un intervalle fini de type [a, b] pouvait être prolongée vers la droite comme vers la gauche sur une infinité de répliques contiguës de l'intervalle [a, b] où elle prenait les mêmes valeurs que sur [a, b] lui-même, devenant ainsi une fonction périodique susceptible d'une expression analogue.

$$\rho(x,0) = f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \rho_n \sin n\frac{\pi}{L}x,$$

$$\rho(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \rho_n \sin n\frac{\pi}{L}x \ (\exp\left\{-\gamma\left(n\frac{\pi}{L}\right)^2 t\right\}),$$

$$\text{avec } \rho_n = (2/L)\int_{-\infty}^{+\infty} dx\, f(x) \sin n\frac{\pi}{L}x$$

Le terme général de la seconde sommation est une densité de probabilité intermédiaire (qui décroît exponentiellement au cours du temps parce que les particules étrangères, initialement concentrées en un lieu de la tige, se répandent sur toute sa très grande longueur). Comme dans la plupart des décompositions de Fourier ce terme peut être négatif, soit parce que ρ_n l'est, soit parce que :

$$\frac{L}{n} < x < 2\frac{L}{n}$$

La probabilité de trouver à l'instant t des particules en diffusion entre les tranches d'abscisse x et $x + \Delta x$ est (densité de probabilité)×(volume de la tranche), soit :

(3b) $$\rho(x,t).S\Delta x = \sum_{n=1}^{\infty} \rho_n S\Delta x.\sin n\frac{\pi}{L}x.\exp\left\{-\gamma(\frac{n\pi}{L})^2 t\right\}$$

Le terme général de cette sommation est une probabilité intermédiaire. Il est lui aussi, comme dans la plupart des décompositions de Fourier, positif et négatif en alternance. *Mais cette probabilité n'est attachée à aucun événement observable*. Seule la somme infinie l'est, et elle est toujours positive.

Il est intéressant de rapprocher les relations (3a) et (3b), car elles ont la même structure :

(3a) $$p_c = \sum_k P_k \quad p_{ck}$$

(3b) $$\rho(x,t)S\Delta x = \sum_{n=1}^{\infty} (\sin n\frac{\pi}{L}x.\exp\left\{-\gamma(\frac{n\pi}{L})^2 t\right\})(\rho_n S\Delta x)$$

p_c joue le même rôle que $\rho(x,t)S\Delta x$: deux probabilités d'observer tel événement ;

P_k joue le même rôle que $(\sin n\frac{\pi}{L}x.\exp\left\{-\gamma\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 t\right\})$; notons cependant que nos P_k avaient été supposés positives (supposition qu'on aurait pu lever, comme le fait Feynman pour des quantités analogues dans son article), alors que, dans notre expression précédente, le sinus peut être négatif.

p_{ck} joue le même rôle que $(\rho_n S\Delta x)$. Ce sont deux probabilités conditionnelles, la première que la couleur c soit observée *si* la fente k est ouverte et la seconde qu'on observe des particules diffusées au voisinage de *x si* on se limite à l'harmonique de rang n.

3. La distribution de quasi-probabilités de Wigner

Un autre contexte se présente maintenant, dans lequel apparaissent des probabilités négatives. C'est, historiquement, ce contexte qui a suscité l'interpellation et s'est trouvé être à la source de nombreux travaux ultérieurs.

Question du candide. — Qu'entendez-vous par « susciter l'interpellation » ?

Réponse. — Dans l'exemple ci-dessus, on traite un système physique particulier : une tige très longue et très mince est le siège de la libre diffusion de particules étrangères. Or, ce dont il va être question ci-après concerne, non pas *un* système, mais *tous* les systèmes physiques régis par la mécanique quantique. Que, *de façon générale*, des probabilités négatives s'introduisent en physique était une nouveauté radicale, et ce quelques années à peine après l'avènement des principes fondateurs de cette mécanique quantique.

En effet en 1932, Wigner et Szilárd[4], cherchant à instituer pour la mécanique quantique des méthodes statistiques inspirées de celles de la mécanique classique, proposèrent une nouvelle distribution de probabilités. Il est bon, pour cadrer leur démarche, de décrire à grands traits les concepts de base de la physique statistique classique.

Dans un contexte non quantique donc, lorsqu'un système formé d'un très grand nombre N de particules en interaction les unes avec les autres et en interaction avec le monde extérieur évolue au fil du temps, on a recours à la notion d'*espace de phase* Γ. Si on désigne par q l'ensemble des $3N$ coordonnées, cartésiennes ou autres, des particules, et par p l'ensemble des moments conjugués correspondants[5], on crée un « espace de phase Γ » à $6N$ dimensions — espace

4. Le rôle joué par Szilárd dans la création de la distribution de Wigner est expliqué dans de Gosson (2017, p. IX). L'auteur y fait observer que cette distribution « *seems to be pulled out of thin air* » !
5. Par exemple en coordonnées cartésiennes, le moment conjugué à la coordonnée x est $p_x = mv_x$, où m désigne la masse de la particule et v_x la composante de la vitesse le long de l'axe OX.

purement abstrait — mais qui se prête admirablement au calcul des valeurs moyennes de quantités physiques qui dépendent à la fois des q et des p.

Par quelle procédure ?

Donnons une représentation schématique de l'espace de phase Γ : [q] désigne l'ensemble des axes associés aux $3N$ coordonnées et [p] l'ensemble des axes associés aux $3N$ moments conjugués. Or, les q et les p varient au cours du temps lorsque se meuvent avec des vitesses variables les particules qui forment le système, ce qu'on exprimera ci-dessous par les notations $q(t)$ et $p(t)$. Ils caractérisent le système lorsque celui-ci a atteint l'équilibre (dit « thermodynamique »). On peut se représenter à chaque instant t l'état du système par un point ($q(t)$, $p(t)$) à $6N$ coordonnées dans l'espace de phase, et son évolution par une « trajectoire de phase » représentée schématiquement sur la figure que voici :

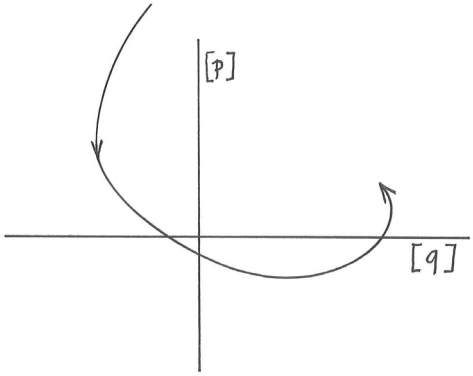


Fig. n°4.
Une trajectoire de phase.
Source : composition personnelle.

Soit $\alpha(q,p)$ une quantité physique mesurable qui dépend à la fois des q et des p.

On peut définir comme suit sa valeur moyenne entre les instants t_1 et t_2 :

$$\bar{\alpha} = \bar{\alpha}(q(t), p(t)) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t1}^{t2} dt \;\; \alpha(q(t), p(t)) \tag{4}$$

Mais le calcul de cette intégrale se heurte à une difficulté insurmontable : le nombre de fonctions $q(t)$ et $p(t)$ est de l'ordre du nombre d'Avogadro[6] ! *Aucun*

6. Nombre de molécules dans une môle de la substance ; il est égal à 6 suivi de 23 zéros.

humain, aucun ordinateur ne peut exécuter un tel calcul. Josiah W. Gibbs, physicien et mathématicien américain, a, de longue date, remédié à cette situation.

Suivons Gibbs et imaginons que le système, évoluant au cours du temps, ses diverses particules changent constamment, au gré de leurs collisions, de positions et de moments conjugués, soit à l'équilibre macroscopique (« thermodynamique ») : l'ensemble des $q(t)$ et $p(t)$ décrit donc dans l'espace de phase Γ, une « trajectoire de phase » (voir la figure n°4). À mesure que passe le temps, cette trajectoire envahit une portion de l'espace de phase qui dépend des caractéristiques du système étudié. *Substituons à cette trajectoire un ensemble formé de très nombreux points* (séparés par exemple par des laps de temps très courts et égaux). Comme ces points sont très nombreux, il y a du sens à définir une *densité*.

Soit un élément d'hypervolume $\Delta q \Delta p$ autour de (q,p) et $\Delta N(q,p)$ le nombre de points dans cet élément d'hypervolume. On peut proposer la définition que voici :

$$\rho(q,p) = \frac{\text{nombre de points dans l'élément d'hypervolume}}{\text{hypervolume de l'élément}}$$

Ou encore

$$\rho(q,p) = \frac{\Delta N(q,p)}{\Delta q \Delta p} \tag{5}$$

Cette quantité est la « distribution de Liouville »[7]. Gibbs propose, comme définition alternative de la valeur moyenne de la quantité α(q,p), la définition que voici, où l'intégrale est étendue à tout l'espace de phase Γ :

$$\overline{\alpha} = \int dq dp \rho(q,p) \alpha(q,p) \tag{6}$$

Et l'Histoire a montré qu'avec un choix approprié, pour chaque système, de la densité , les calculs sont parfaitement réalisables.

Il importe de noter qu'en vertu de la définition (5), la densité de probabilité $\rho(q,p)$ est *positive*. En mécanique quantique, en raison du principe d'incertitude de Heisenberg, il n'est plus possible de connaître, avec autant de précision qu'on veut, à la fois q et p, et cela parce que la connaissance précise de l'un s'accompagne, de par la *natura rerum*, d'une grande incertitude sur la connaissance de l'autre. Il n'est donc plus possible de définir des trajectoires et des en-

7. Joseph Liouville, mathématicien français (1809-1882).

sembles de points dans l'espace de phase. Par suite, tant les définitions (5) que (6) tombent en défaut. Alors, comment faire ?

En mécanique quantique, la notion de position est remplacée par celle de *fonction d'onde*. Dans un monde à une dimension ne comportant qu'une seule particule, on désigne cette fonction d'onde par $\psi(x)$, où désigne l'unique coordonnée cartésienne. De même le moment conjugué cède la place à une autre fonction d'onde $\varphi(p)$. Ces deux fonctions d'onde sont transformées de Fourier l'une de l'autre[8], ce qui constitue une expression subtile du principe d'incertitude de Heisenberg selon lequel la Nature impose une limitation à la détermination précise, à la fois de la position et de la vitesse d'une particule. Les quantités physiques mesurables sont représentées par des opérateurs qui agissent sur les fonctions d'onde et contiennent le temps.

Wigner a proposé de substituer à la distribution de Liouville $\rho(p,q)$ une autre « distribution » (Wigner, 1932), qui, en notations d'aujourd'hui, s'écrit :

$$\rho_w(x,p) = \frac{1}{2\pi\hbar}\int_{-\infty}^{+\infty} dy \;\; \psi^*(x-\frac{y}{2})e^{-i\frac{py}{\hbar}}\psi(x+\frac{y}{2}) \tag{7}$$

(L'astérisque désigne la conjugaison complexe). On peut y ajouter — nouvelle expression du principe d'incertitude ! — cette autre « distribution », qui peut s'exprimer comme suit :

$$\tilde{\rho}_w(p,x) = \frac{1}{2\pi\hbar}\int_{-\infty}^{+\infty} dz \;\; \varphi^*(p-\frac{z}{2})e^{+i\frac{xz}{\hbar}}\varphi(p+\frac{z}{2}) \tag{8}$$

Pourquoi avoir entouré de guillemets le mot « distribution » ? Parce qu'en fait, comme on l'a déjà indiqué plus haut, ces deux « distributions » de probabilité prennent des valeurs aussi bien négatives que positives, ce qui les distingue radicalement des distributions classiques[9]. Le plus souvent elles sont nommées *distributions de quasi-probabilités*. On peut démontrer sans difficulté qu'elles sont égales : $\tilde{\rho}_w(p,x) = \rho_w(x,p)$

On prouve sans peine que :

8. La mise en œuvre de cette transformation de Fourier se fait par une simple formule dont le détail est sans importance ici. Qu'il suffise de mentionner le fait que connaissant l'une des deux fonctions, on peut en déduire l'autre et inversement.
9. À titre d'exemple, si la particule est un oscillateur harmonique de masse m et de pulsation ω, la distribution de Wigner, pour le premier niveau excité, prend des valeurs négatives pour les points (x,p) tels que l'énergie de l'oscillateur harmonique y soit inférieure à $\hbar\omega/4$. Ces points sont toutefois sans signification physique, puisque l'énergie la plus basse de l'oscillateur harmonique est $\hbar\omega/2$.

(9a) $$\int_{-\infty}^{+\infty} dx \int_{-\infty}^{+\infty} dp \rho_w(x, p) = 1$$

Cette relation est une condition nécessaire pour que soit une distribution de probabilités. On montre aussi que :

(9b) $$\int_{-\infty}^{+\infty} dp \rho_w(x, p) = \left|\psi(x)\right|^2$$

Et on retrouve la distribution de probabilités de présence de la particule. Des relations analogues valent pour $\tilde{\rho}_w(p, x)$

La généralisation à N particules et à 3 dimensions est immédiate ; elle sera éludée ici, en raison de la lourdeur de l'écriture ; par ailleurs cette généralisation n'apporte rien de nouveau à ces réflexions[10].

Le fait que la distribution de Wigner prend aussi bien des valeurs négatives que positives pourrait nous inciter à la rejeter dans le calcul des valeurs moyennes. Voici ce qu'en dit Wigner lui-même en 1971 : « *But of course this must not hinder the use of it in calculations as an auxiliary function wich obeys many relations we would expect from such a probability* » (Wigner, 1971, pp. 25-36).

Les valeurs moyennes des quantités mesurables sont données par la définition que voici :

(10) $$< \alpha >= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} dx dp \rho_w(x, p) a(x, p)$$

Si on compare avec la définition classique (6), les seules différences formelles sont le domaine d'intégration et la substitution de *a(x, p)* à *α(x, p)*. En fait, *α(x, p)* est lié à la grandeur observable par une formule spécifique qui est dénuée d'intérêt ici. Ce qui en revanche est très important est que la distribution de Wigner prend, comme de nombreux travaux l'ont montré, aussi bien des valeurs négatives que des valeurs positives, contrairement à la distribution de Liouville (5).

10. La définition habituelle de la distribution de Wigner ne fait jouer aucun rôle au spin. L'auteur de cet article a présenté récemment en séminaire une généralisation qui tient compte du spin des particules. Il faudrait un article complet pour l'exposer, même dans ses grandes lignes ; c'est pourquoi on ne l'évoquera pas ici.

4. Conclusion

L'incorporation des probabilités négatives dans les deux domaines nécessaires au développement de la physique statistique quantique, à savoir la théorie des probabilités et la mécanique quantique, est aujourd'hui en plein essor.

D'une part, la théorie des probabilités fait l'objet de remaniements. On a rappelé que dans la théorie classique des probabilités (Kolmogorov), à tout ensemble A représentant un événement A est associé une probabilité qui est en fait une mesure : *la probabilité de l'événement A est* $\mu(A)$, où μ est une mesure à valeurs dans l'intervalle réel compris entre 0 et 1. Dans une extension de la théorie des probabilités, μ prend des valeurs réelles aussi bien positives que négatives ou nulles[11]. Et on peut montrer que μ peut être mise sous la forme $\mu = \mu_+ - \mu_-$ où chaque terme de la différence est une fonction qui associe à chaque ensemble représentant un événement un nombre réel positif. La fonction réelle μ est alors appelée une *mesure signée*. Mais il existe aussi des probabilités complexes, comme en témoigne l'ouvrage de Youssef cité en bibliographie.

D'autre part, le cadre conceptuel de la mécanique quantique est lui-même élargi : par exemple l'espace de Hilbert des vecteurs d'état d'un système est remplacé par des espaces plus généraux comme ceux de Krein, où la norme des vecteurs d'état n'est plus seulement positive, mais aussi négative, voire même nulle.

Ce n'est pas le lieu, ici, d'exposer le détail de ces recherches. Mentionnons simplement le fait qu'une bonne compréhension des choses nécessite une classification adéquate des événements. Et ajoutons que le titre de cet article a été mis intentionnellement *sous la forme d'une question*, à laquelle on peut répondre aujourd'hui par l'affirmative : il est devenu licite d'affirmer que la notion de probabilité négative est pertinente.

Le destin des probabilités négatives ressemble étrangement à celui des nombres négatifs et des nombres complexes. Les nombres négatifs qui, initialement (au XVIe siècle), inspiraient à ceux qui s'en servaient une sorte de défiance ou même de rejet ont finalement, grâce aux talents de Wessel et Argand, acquis leurs lettres de noblesse ontologique. L'ostracisme était pire encore pour les nombres imaginaires en tant que racines de nombres négatifs. Mais l'habileté de Moivre, Euler et Gauss les ont hissés au sommet de la pyramide ontologique en montrant que les nombres positifs n'en étaient que des cas particuliers, ainsi

11. Pour un exposé complet, voir Khrennikov (2009).

que les nombres négatifs (Flament, 2003). Il semblerait que les probabilités négatives soient aujourd'hui, comme leurs ancêtres, sur la bonne voie d'une reconnaissance analogue, bien que tout ne soit pas encore fait.

Concluons donc en pariant que si Cardano et Bombelli ressuscitaient, ils seraient fascinés par le flot de travaux qui, plusieurs siècles après eux, a découlé de leurs innovations.

Remerciements

Je tiens à remercier vivement le Père P. Devos, s.j., professeur émérite de biologie à l'UNamur, qui a accepté de jouer le rôle ingrat du *candide* et m'a suggéré plusieurs améliorations. Sans son généreux investissement personnel, cet article n'aurait peut-être pas été digne d'un coup d'œil.

Bibliographie

Argand, J. L. (1806). *Essai sur la manière de représenter les quantités imaginaires dans les constructions géométriques*. Paris : Gauthier-Villars.

Azizov, T. Ya, & Iokhvidov, I. S. (1989). *Linear operators in spaces with indefinite metrics*. New York : John Wiley and Sons 1989.

Bombelli, R. (1572). *Algebra*. Bologna : Giovanni Rossi.

Cardano, G. (1545). *Artis magnae sive regulis algebraicus*. Nürnberg.

Feynman, R. P. (1987). Negative Probability. Dans B. J. Hiley & F. David Peat. *Quantum Implications : Essays in Honour of David Bohm* (pp 235-248). Abingdon : Routledge.

Flament, D. (2003). *Histoire des nombres complexes : entre algèbre et géométrie*. Paris : CNRS Édition.

de Gosson, M. (2006). *Symplectic Geometry and Quantum Mechanics.* Basel ; Boston ; Berlin : Birkhäuser Verlag.

de Gosson, M. (2017a). *The Wigner Transform*. Londres : World Scientific.

de Gosson, M. (2017b). *Quantum Harmonic Analysis of the Density Matrix*. Vienne : Faculty of Mathematics (NuHAG).

Kittel, C. (1961). *Éléments de physique statistique*. Paris : Dunod.

Khrennikov, A. (2009) *Interpretations of Probability*. Berlin : Walter de Gruyter.

Landau, L., & Lifschitz, E. (1967). *Physique statistique*. Moscou : Mir.

Wessel, C. (1799). *Om direktionens analytiske betegning, et forney, anrendt fornemmelig til plane og sphaeriske polygoners oplosning*. Copenhague : Académie Royale des Sciences et des Lettres du Danemark (2e série).

Wigner, E. P. (1932). On the Quantum Correction for Thermodynamic Equilibrium. *Physical Review*, 40, 699-755.

Wigner, E. P. (1971). Quantum-mechanical Distribution Functions Revisited. Dans Yourgrau, W., & van der Merwe, A. *Perspectives in Quantum Theory* (pp. 25-36). Cambridge MA : MIT Press.

Youssef, S. (1993). *Quantum Mechanics as Complex Probability Theory*. Tallahassee : Florida State University.

Revue des Questions Scientifiques, 2022, 193 (1-2) : 69-93

À 4 mains... minimum !

Qu'est-ce que le vivant ?

Perspective relationnelle en biologie

Astrid Modera
Université de Namur
Département Sciences-Philosophies-Sociétés
astrid.modera@unamur.be

Avec la complicité pédagogique de
Manon Grilli et Garance Hugo

Résumé. – La grande diversité des formes que prend la vie sur Terre est impressionnante. Des végétaux aux animaux, en passant par les champignons et les bactéries, il parait difficile d'exprimer clairement ce qui leur est commun. Dans cet article, nous discutons la caractérisation du vivant développée en biologie relationnelle, approche principalement élaborée par Robert Rosen (1934-1998), à partir d'exemples simples et quotidiens. Notre objectif est de présenter rigoureusement, mais le plus simplement et le plus clairement possible, la vision du vivant qui y est proposée. Pour ce faire, nous détaillons le modèle relationnel du vivant qu'est le (M,R)-Système, ainsi que les outils nécessaires pour le construire et le comprendre, à savoir la théorie des catégories et la théorie aristotélicienne de la causalité.

Abstract. – The great diversity of life forms on Earth never ceases to amaze us. From plants to animals, and from fungi to bacteria, it remains difficult to put one's finger on exactly what they all have in common. In this article, we discuss the characterization of life — chiefly developed in relational biology by Robert Rosen (1934-1998) — using simple, everyday examples. Our main objective is to present a precise portrayal of what it means to be alive, as expressed by this theory, in as clear and simple terms as possible. To this end, we provide a comprehensive description of the relational model of life, called the (M,R) System, including the tools necessary to construct and understand it, namely the category theory and the Aristotelian theory of causality.

Mots clés. – Biologie relationnelle — Causalité aristotélicienne — M,R-Système — Robert Rosen — Théorie des catégories

Plan de l'article

1. Introduction
2. La biologie relationnelle
3. La théorie des catégories
4. La théorie aristotélicienne de la causalité
5. Un modèle du vivant : le (M,R)-Système
6. Une définition systémique du vivant
7. Conclusion
8. Pour aller plus loin

1. Introduction

J'ai récemment adopté un chaton et cette arrivée a non seulement modifié mon quotidien, mais m'a également permis de voir autrement la diversité de la vie. En effet, ce petit être a atterri dans un environnement déjà habité par des organismes vivants, à savoir des plantes vertes et des êtres humains, mais il y apporte une autre manière de vivre. Le voir s'attaquer à ces plantes et créer de cette manière un rapport particulier avec d'autres êtres vivants a fait naître en moi cette question étrange : pourquoi peut-on dire que ce chat et ce végétal qu'il griffe et mordille sont tous deux vivants, alors qu'ils semblent si différents ? Que peut-il bien exister chez l'un et chez l'autre qui soit commun au point de leur attribuer le même qualificatif, celui de « vivant » ? Leurs manières de se nourrir, de grandir, de se développer, de naître et de mourir — au final, de vivre — sont tellement différentes qu'on peut avoir du mal à les regrouper dans un ensemble commun.

Cette question est, en fait, celle de la définition de la vie : que doit-on faire ou à quoi doit-on ressembler pour être considéré·e en vie ? Pourquoi les chats et les plantes sont vivantes[1] alors que ces êtres semblent si différents ? Cette ques-

1. J'utilise ici la règle dite « de proximité » pour l'accord des adjectifs et des participes passés. Cette règle, également nommée de contiguïté ou de voisinage, « accorde en genre, et en nombre, l'adjectif, le participe passé et le verbe avec le nom qui les précède ou les suit immédiatement. » (Viennot, 2018, p. 6). La règle plus courante, traditionnellement décrite par la formule « le genre grammatical masculin l'emporte sur le genre grammatical féminin », développée et répandue à partir du XVIIe siècle, le fut en réaction à cette règle de proximité. Cette primauté du genre grammatical masculin sur le féminin fut justifiée par la défense d'une prétendue plus grande noblesse du genre masculin (Vaugelas, *Remarques sur la langue française*, 1647) « à cause de la supériorité du mâle sur la femelle » (Beauzée, 1767, p. 358). Cette règle inscrit dans la langue une domination sociale des hommes sur les femmes (voir, à ce sujet, les travaux des linguistes Eliane Viennot et Lucy Michel). C'est la raison pour laquelle, dans un objectif de lutte contre cette discrimina-

tion a fait réfléchir beaucoup de scientifiques et de philosophes, et de nombreuses définitions ont été proposées, non sans difficultés (Cleland & Chyba, 2002). Certaines définitions, dont l'une très célèbre et reprise par la NASA (Joyce, 1994, pp. XI-XII) — pour qui la définition du vivant est importante dans sa recherche de formes de vie extraterrestres — mettent l'accent sur une combinaison entre une constitution particulière du système et les capacités de celui-ci : un système est en vie s'il est un système chimique auto-suffisant capable de subir une évolution darwinienne. Qu'est-ce que cela signifie, concrètement ? Nous avons ici un critère qui s'applique à la nature des constituants des êtres vivants — ils doivent être chimiques — et deux critères concernant ce que ces éléments, constitués en système, sont capables de faire — s'auto-suffire et subir l'évolution darwinienne.

Appliquons cela à mon chat : cette petite boule de poils possède, en dessous d'une splendide fourrure, un corps composé d'organes, eux-mêmes composés de tissus, formés par des cellules et ainsi de suite jusqu'à, effectivement, des entités de nature chimique : des molécules composées d'atomes. Mais, c'est également le cas de la table dont les pieds servent de grattoir à mon chat, ou de l'ampoule qui nous éclaire. Tous les systèmes chimiques ne sont pas vivants. Deuxième critère : un système doit, en plus d'être chimique, être auto-suffisant. Sous condition d'absorber régulièrement de l'énergie, sous une forme ou une autre, depuis son environnement — donc d'être thermodynamiquement ouvert, un organisme vivant possède tout ce qui est nécessaire pour entretenir et maintenir le système en fonctionnement. Parce que mon chat vit avec moi, je lui fournis cet apport de matière et d'énergie, mais s'il vivait à l'extérieur, il serait également capable de trouver ce qu'il lui faut et, de ce fait, de survivre[2]. Idem pour ma plante : je l'arrose, mais elle est capable de trouver ce qui lui convient pour se maintenir. Troisième critère : ces systèmes chimiques auto-suffisants sont capables de subir l'évolution darwinienne.

Ce dernier point pose un certain nombre de problèmes. En effet, l'évolution darwinienne ne peut s'étudier que sur plusieurs générations : les systèmes vivants doivent en engendrer d'autres, différents d'eux-mêmes, et dont les mieux adaptés survivront par sélection naturelle. Selon cette définition, il est

tion et dans la visée de l'égalité, je lui préfèrerai la règle de proximité. Je ferai également usage d'une écriture inclusive, en utilisant le point médian (un·e biologiste) ou les formes apposées (les chercheurs et les chercheuses) lorsqu'il sera question de désigner des personnes, des groupes de personnes dont le genre n'est pas spécifié ou de genres multiples.

2. La question de la survie des animaux domestiques, et de rente, sans intervention humaine est cependant très discutée. Voir par exemple Jeangène Vilmer (2011).

donc nécessaire que chaque système vivant, en plus de posséder tout un attirail génétique, soit capable de se reproduire. Or, il existe un certain nombre d'organismes vivants stériles — comme la mule, par exemple — qu'on ne verrait pas rejeter de la catégorie « être vivant » par simple inadéquation avec cette définition darwinienne[3]. Aussi importante que soit la théorie de l'évolution pour l'étude du vivant, elle ne peut donc être une condition nécessaire à la définition de la vie.

Le critère d'autosuffisance du système chimique semble par contre assez prometteur, mais encore très flou. Qu'est-ce que cela signifie ? Comment rendre compte et analyser cette autosuffisance ? Comment la rendre applicable autant aux chats, qu'aux plantes, aux champignons, aux bactéries et aux êtres humains, si toutes ces entités sont vivantes au même titre ?

C'est ce que je vous propose d'explorer ici. Si la caractéristique essentielle des êtres vivants est d'être autosuffisants, de quelle manière le sont-ils ? Comment en rendre compte vu la diversité des formes que prend la vie ? Une branche de la biologie, développée à partir de la moitié du XXe siècle, s'est donné cet objectif, en cherchant à proposer un modèle suffisamment abstrait pour tenir compte de tous les êtres vivants, mais assez précis pour ne concerner que ceux-ci. Il s'agit de la biologie relationnelle.

2. La biologie relationnelle

Cette branche de la biologie fut principalement développée par le biologiste étasunien Robert Rosen (1934-1998) à partir de la seconde moitié des années 1950. Cette époque est traditionnellement caractérisée par la naissance et le développement de la biologie moléculaire, à partir des travaux de Watson, Crick et Franklin sur la structure de l'ADN (1953). Bien que l'approche moléculaire en biologie vise également à rendre compte de caractéristiques communes aux êtres vivants, elle sera vivement critiquée par Rosen qui n'en partage pas la démarche réductionniste. Selon lui, on ne peut étudier et chercher à comprendre la spécificité du vivant en réduisant celui-ci à ses composants chimiques ou physiques. Il estime d'ailleurs que le terme même de « biolo-

3. Il faut noter également que certaines espèces se reproduisent par parthénogenèse — reproduction par division de gamètes femelles, sans fécondation donc, et, même si ce mode de reproduction ne produit pas des individus parfaitement identiques à la génération précédente, elle ne fournit pas assez de diversité génétique pour être permettre une évolution darwinienne. Cette dernière ne peut donc s'appliquer à tous les individus vivants.

gie moléculaire » constitue un oxymore, puisqu'il n'existe aucune vie au niveau moléculaire (Mikulecky, 2001, p. 318). Il faut par conséquent rester au niveau de l'organisme, au niveau du tout unifié, afin d'en comprendre la spécificité. Autrement dit, si je veux comprendre ce qui regroupe mon chat et ma plante dans la catégorie « être vivant », la biologie relationnelle me conseille d'étudier leur organisation globale, donc les relations entre les éléments qui les constituent, d'où le nom de cette approche, et de laisser de côté leur génome.

L'idée de la biologie relationnelle est de mettre en lumière ce qui est commun à tous les êtres vivants — pour répondre à la question « qu'est-ce que la vie ? » — et cela passe, pour les biologistes relationnels comme Rosen, par une prise de distance offrant un point de vue plus large sur ce que l'on considère comme vivant. Individuellement, les êtres vivants paraissent très divers, voire incomparables les uns aux autres. Cependant, malgré leurs différences parfois nombreuses, ils sont tous qualifiés de vivants. Les biologistes relationnels cherchent à expliquer le vivant non par l'étude de la nature de ses composants, mais par l'étude du système vivant en tant que tout unifié, ce qui nécessite d'abstraire un modèle susceptible de représenter tous ces systèmes vivants particuliers.

Rosen défend l'idée que la spécificité du vivant est à chercher dans son *organisation*. Il faut arrêter de chercher à comprendre le vivant et son comportement en le réduisant aux entités matérielles qui le constituent. Et ce que les organismes vivants ont en commun, au niveau organisationnel, c'est tout d'abord une fonction métabolique. Le métabolisme, ou fonction métabolique, est ici à prendre dans un sens très large : il s'agit d'une suite de processus transformant de la matière ou de l'énergie d'un certain type, en de la matière ou de l'énergie différente. Tous les organismes vivants, pour être qualifiés comme tels, effectuent ce genre de transformation d'une manière ou d'une autre : par photosynthèse pour ma plante ou par absorption de nutriments pour mon chat, par exemple. C'est le point de départ de Rosen pour construire son modèle d'organisme vivant.

Pour représenter de la manière la plus claire possible cette fonction fort générale et pour atteindre un niveau d'abstraction suffisant pour concerner tous les êtres vivants dans leur diversité, Rosen utilise un outil mathématique particulier : la théorie des catégories[4], qui étudie les structures mathématiques et leurs relations. L'usage de cette théorie et le degré d'abstraction qu'elle permet

4. Fondée en 1945 par deux mathématiciens, Samuel Eilenberg et Saunders MacLane, dans un article intitulé *General Theory of Natural Equivalences*.

sont deux des raisons majeures pour lesquelles la biologie relationnelle a été peu étudiée et n'a eu, de ce fait, que peu d'influence sur le développement de la biologie. Ce qui, selon moi, est fort regrettable, car cette approche de la biologie propose un point de vue unique, rigoureux et riche sur le vivant, et vaut par conséquent le détour. Alors, allons-y !

3. La théorie des catégories

Pour bien comprendre ce que Rosen propose en utilisant cet outil, il va falloir mettre les mains dans le cambouis. Cela va devenir assez technique, mais la volonté est de donner tous les outils pour comprendre la particularité de cette approche de la biologie. Nous verrons en effet que la définition du vivant qui y est proposée contient des éléments qui peuvent paraître contre-intuitifs, comme la clôture causale, mais que cela tient la route, et le formalisme apporte la rigueur nécessaire à la défense d'une idée aussi originale. De plus, comme nous allons le voir, la théorie des catégories constitue l'outil mathématique par excellence pour représenter et analyser les relations, qui sont au cœur de la biologie relationnelle.

Commençons par présenter les éléments fondamentaux de la théorie des catégories[5]. Une catégorie est composée d'objets, de relations entre ces objets et de règles auxquelles obéissent ces relations. Nous utiliserons ici le terme de *morphisme* pour désigner ces relations. Voyons tout cela plus précisément :

- Les objets d'une catégorie C peuvent être des ensembles, des graphes, des classes ou d'autres objets mathématiques, et sont désignés par des lettres majuscules (A, B, C, ...). Voilà déjà qui montre la possibilité d'abstraction de la théorie des catégories : les objets dont elle s'occupe sont des objets mathématiques habituellement traités par d'autres branches des mathématiques (théorie des ensembles, théorie des graphes, etc.). La théorie des catégories ne va pas se substituer à ces théories déjà existantes, mais bien s'y ajouter, en mettant en lumière les relations que peuvent entretenir ces objets plutôt que ce qui les constitue.
- Les morphismes (relations entre objets) sont désignés par des lettres minuscules (*f, g, h,* ...) et représentés par des flèches. Ils ont un objet comme domaine et un objet comme codomaine. Un morphisme

5. Cette présentation est principalement basée sur l'ouvrage de Lawvere, F. W. & Schanuel, S. H., *Conceptual Mathematics : A First Introduction to Categories* (1997).

f allant du domaine A au codomaine B est représenté comme ceci : $A \xrightarrow{f} B$, f: A → B, ou f(A, B).

- Pour chaque objet A d'une catégorie, il existe un morphisme qui possède A comme domaine et comme codomaine ; il s'agit du morphisme identité $1_A : A \xrightarrow{1_A} A$. Autrement dit, c'est la relation d'identité qu'un objet a avec lui-même.
- Pour chaque paire de morphismes $A \xrightarrow{f} B \xrightarrow{g} C$, il existe un morphisme de composition : $A \xrightarrow{g \circ f} C$ (ce morphisme se lit « *g* après *f* »). On applique d'abord *f* de A vers B, puis *g* de B vers C. Pour que la composition des morphismes soit possible, il est nécessaire que le domaine d'un des morphismes soit le codomaine de l'autre. Ici, B est le domaine du morphisme *g* et le codomaine du morphisme *f*.

Il s'agit des données de base d'une catégorie, et ces données suivent les règles suivantes :

- Les règles de l'identité : si $A \xrightarrow{f} B$, alors $1_B \circ f = f$ et $f \circ 1_A = f$. Autrement dit, si j'applique d'abord *f* de A vers B, puis 1_B de B vers B, j'ai le même résultat que si j'avais simplement fait *f*. De même, si j'applique d'abord 1_A de A vers A, puis j'applique *f* de A vers B, j'obtiens le même résultat que si j'avais uniquement appliqué *f*.
- La règle d'associativité : si $A \xrightarrow{f} B \xrightarrow{g} C \xrightarrow{h} D$, alors $(h \circ g) \circ f = h \circ (g \circ f)$. En présence de trois morphismes qui peuvent s'appliquer à la suite (donc le codomaine du premier est le domaine du deuxième, et ainsi de suite), on peut grouper indifféremment les compositions de ces morphismes. Que l'on aille d'abord de A vers B (c'est le morphisme *f*), puis de B directement vers D (c'est la composition $h \circ g$), ou que l'on aille de A vers C (avec la composition $g \circ f$), puis de C vers D (avec le morphisme *h*), on obtient le même résultat.

Ces éléments constituent la base de la théorie des catégories et les seules informations nécessaires à la construction d'une catégorie.

C'est aussi à partir de ces seuls éléments de base que Rosen construit un modèle mathématique du vivant. Nous avons vu plus haut que le point commun à tous les êtres vivants, dont il part, est le métabolisme. Cette fonction est simplement considérée comme un processus au cours duquel des *inputs* sont transformés en *outputs*. Par exemple, de la matière, sous forme de croquettes,

constitue un *input* du processus métabolique de mon chat, dont certains des *outputs* seront les vitamines, glucides, lipides et protéines lui permettant de vivre et de grandir.

Le postulat épistémologique que décide d'adopter Rosen en utilisant la théorie des catégories est que tout processus est un morphisme (Louie, 2009, p. 98), c'est-à-dire que tout processus peut être représenté, en théorie des catégories, par une flèche allant d'un objet, le domaine, vers un autre objet, le codomaine. La fonction métabolique générale, considérée abstraitement, c'est-à-dire sans chercher à représenter tous les éléments responsables de son fonctionnement, est représentable en termes catégoriels par un morphisme $A \xrightarrow{f} B$, ou $f(\mathrm{A}, \mathrm{B})$; l'ensemble A représentant les *inputs* et l'ensemble B les *outputs*. Il faut noter que A et B sont bien des ensembles (même si la théorie des catégories autorise qu'ils soient des objets mathématiques de nature différente) et que ce qui regroupe les *inputs* dans l'ensemble A n'est en rien leur nature, puisqu'il peut s'agir, en fonction des besoins de l'organisme, aussi bien de nourriture, que d'oxygène ou de lumière. Ce qui permet de regrouper cette diversité d'éléments dans le même ensemble est le simple fait que tous ces éléments sont absorbés par le système vivant et qu'ils participent à son métabolisme. De même, l'ensemble B regroupe tous les éléments qui résultent du processus métabolique, quelle que soit leur nature. Tout organisme vivant possède donc une série d'opérations constituant ensemble son métabolisme, cette série pouvant être représentée par un morphisme.

Afin d'insister sur l'importance de considérer le métabolisme comme un processus, Rosen propose une autre représentation de ce morphisme $f(\mathrm{A}, \mathrm{B})$:

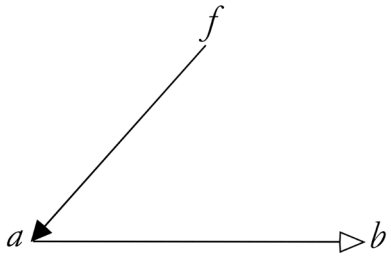


Fig. n°1.
Diagramme relationnel d'un morphisme *f* (A, B), avec *a* appartenant à A et *b* appartenant à B.

Source : composition personnelle à partir de Rosen (1991).

Rosen nomme cette nouvelle représentation *diagramme relationnel*, et il la choisit parce qu'elle permet de dissocier deux relations différentes dans le mor-

phisme, dans le processus. Ce diagramme peut en effet se traduire comme suit : un morphisme *f* agit sur un élément *a* de l'ensemble A pour donner un élément *b* de l'ensemble B. La flèche pleine allant de *f* à un élément *a* de A représente l'action de *f* sur *a*, tandis que la flèche vide, allant de l'élément *a* à l'élément *b* représente la relation entre *a* et *b* sous l'action de *f*. La représentation du morphisme *f* s'appliquant sur l'élément particulier *a* pour obtenir l'élément particulier *b* s'écrit $f : a \rightarrow b$.

Avec cette représentation, Rosen s'éloigne délibérément de la notation communément utilisée en théorie des catégories parce qu'elle offre un autre regard sur ce qu'est un processus, et sur ce qu'une modélisation grâce aux mathématiques peut apporter. En effet, si le but de la science est bien de chercher à comprendre le « pourquoi » des choses, ce qui revient à chercher les causes de ces choses, selon lui, la conception moderne de la causalité, qui ne considère comme cause que ce qui produit un effet et qui lui est donc nécessairement antérieur, est trop étriquée pour comprendre le vivant : il faut l'élargir et, pour cela, relire Aristote.

4. La théorie aristotélicienne de la causalité

Une autre raison de la marginalité de la biologie relationnelle est cette intégration de la théorie aristotélicienne de la causalité. En effet, des siècles de construction d'une méthode scientifique rigoureuse ont rejeté l'approche de ce philosophe grec, qui semblait incompatible avec des visions galiléenne et newtonienne de l'investigation du monde[6]. L'une des incompatibilités majeures, et nous aurons l'occasion d'en comprendre la raison ci-dessous, est liée à la défense moderne du principe d'antériorité des causes sur les effets. Si bien qu'une brève présentation de cette antique théorie se révèle ici indispensable. Chez Aristote, la cause se dit *αἰτία* et signifie *explication* au sens large. Raison pour laquelle il considère que les causes peuvent être de quatre types :

- La *cause matérielle* : « ce à partir de quoi quelque chose advient, et qui se trouve en elle » (Aristote, trad. 2012, p. 113 [II 3, 194b23-24]). Il est important de noter que cette cause matérielle n'est pas nécessairement de la matière physique. En effet, Aristote considère, par exemple, que les lettres sont la cause matérielle d'une syllabe (Aristote, trad. 2012, p. 114 [II 3, 195b16-17]).

6. Voir, par exemple, l'ouvrage d'Alexandre Koyré *Du monde clos à l'univers infini* (1973).

- La *cause formelle* : « la forme et le modèle, c'est-à-dire l'énoncé de l'être essentiel et les genres de celui-ci » (Aristote, trad. 2012, p. 113 [II 3, 194b27-28]).
- La *cause efficiente* : « ce d'où vient le premier principe du changement ou du repos [...] ce qui produit [est cause] de ce qui est produit et ce qui fait changer [est cause] de ce qui change » (Aristote, trad. 2012, p. 113 [II 3, 194b30-33]).
- La *cause finale* : « la fin, c'est-à-dire ce en vue de quoi » (Aristote, trad. 2012, p. 113 [II 3, 194b34]). Ce quatrième type de cause, en violant le principe d'antériorité des causes sur les effets, participe au rejet de la théorie aristotélicienne.

Or, ce qui est remarquable, c'est que ces quatre types de causes sont en quelque sorte contenus dans le morphisme censé décrire de manière purement formelle le métabolisme d'un être vivant. Cela se remarque aussitôt que l'on représente[7] ce morphisme comme à la figure 1. Ce diagramme montre en effet que, loin de n'être que la relation formelle qu'entretiennent les éléments des ensembles A et B, le morphisme *f* est aussi ce qui agit sur un élément *a* de l'ensemble A pour donner un élément *b* de l'ensemble B, c'est-à-dire qu'il est également « ce qui produit » ; et, de surcroit, qu'il le fait à partir de *a*, qui est donc « ce à partir de quoi quelque chose advient », et avec le résultat *b*, qui est donc « ce en vue de quoi ». La cause formelle de ce morphisme en est sa structure, c'est-à-dire la combinaison des flèches, des liens entre les éléments du morphisme. Voici comment cette idée peut être représentée (Louie, 2009, p. 112. Notre traduction) :

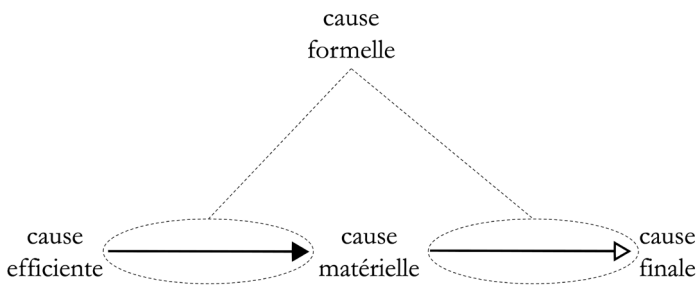


Fig. n°2.
Représentation des 4 causes aristotéliciennes d'un morphisme.
Source : composition personnelle à partir de Louie (2009).

7. Ce qu'avait fait Robert Rosen dans le chapitre 3 de son livre majeur *Life Itself* (1991), chapitre centré sur l'implication dans les systèmes formels (pp. 39-66).

Dans cette figure, chaque type de cause a sa place : la cause efficiente est au début d'une flèche pleine, la cause matérielle à la fin d'une flèche pleine et au début d'une flèche vide, la cause finale à la fin d'une flèche vide et la cause formelle est la conjonction des flèches pleine et vide.

Dans le cas du métabolisme, la cause matérielle, quelle que soit la forme sous laquelle elle est se présente — nourriture, oxygène, lumière — provient de l'environnement. Tout organisme vivant est en effet un système ouvert, d'un point de vue thermodynamique : il absorbe et rejette de l'énergie et de la matière sous différentes formes (par exemple, mon chat a un système digestif très efficace...). Mais il n'est pas que ça. Le métabolisme est nécessaire à la définition du vivant, mais il n'est pas suffisant. En effet, il n'y a pas que des organismes qui sont capables d'absorber des éléments dans leur environnement et d'en rejeter d'autres. N'importe quelle machine mécanique est capable de faire cela[8]. Nous disposons d'un bon point de départ donc, mais qu'il va falloir à présent développer pour aboutir à un modèle représentant exclusivement les organismes vivants, c'est-à-dire ces organismes-là et rien qu'eux. Avec le métabolisme, je peux déjà distinguer mon chat et ma plante de ma table, qui n'absorbe pas d'énergie ni ne la transforme, mais un autre objet du quotidien, non pas la table à laquelle nous avons pensé au début, mais une ampoule, par exemple, est capable de faire ce type de transformation. Il nous faut aller plus loin.

5. Un modèle du vivant : le (M,R)-Système

Si le métabolisme ne suffit pas à définir le vivant, que faut-il lui ajouter ? L'une des caractéristiques qui semblent distinguer plus clairement un organisme d'une machine est son autonomie. Effectivement, une machine est capable d'une forme de métabolisme, mais elle ne peut le faire d'elle-même. Il est nécessaire de la construire et de lui injecter un programme indiquant quoi faire. Si l'autonomie est une autre caractéristique essentielle du vivant, comment en rendre compte dans notre modèle mathématique ? Qu'est-ce qui assure l'autonomie de l'organisme ? Qu'est-ce qui cause ce métabolisme ? Pour répondre à ces questions, retournons à l'analyse de la figure 1, représentant le processus métabolique. En effet, le formalisme de la théorie des catégories va, une fois de plus, nous accompagner dans cet approfondissement.

8. On peut penser, par exemple, à l'installation de l'artiste belge Wim Delvoye, *Cloaca* (2000), qui est constituée d'une machine reproduisant le fonctionnement d'un système digestif humain.

Dans ce schéma, la cause matérielle, l'élément *a*, est externe au morphisme qui nous intéresse, à savoir le métabolisme. Il vient de l'environnement, il entre dans le système, mais n'est pas produit par celui-ci. L'élément *b*, la cause finale du morphisme $f : a \rightarrow b$, par contre, est le produit, le résultat final du métabolisme. Nous savons donc ce qui le produit. Un seul élément du schéma reste ainsi inexpliqué : *f* lui-même. L'élément *a* vient de l'environnement et l'élément *b* est le résultat du métabolisme. Qu'est-ce qui produit *f* en tant que cause efficiente de $f : a \rightarrow b$? Autrement dit, de quel processus *f* est-il la cause finale ?

Pour répondre à cette question, nous allons proposer un nouveau processus, comportant les 4 types de causes, dont on connait déjà la cause finale : *f*. Ce nouveau morphisme, appelons-le Φ, va agir sur un élément *x*, pour faire apparaître *f*. Voici une représentation du système constitué de ces deux morphismes :

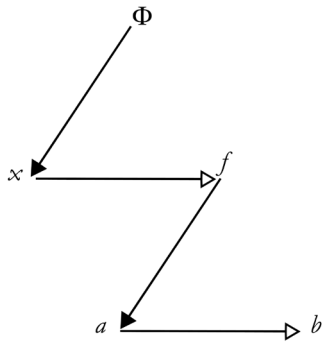


Fig. n°3.
Diagramme relationnel des morphismes *métabolisme* **et** *réparation***.**
Source : composition personnelle à partir de Rosen (1991).

Ce morphisme supplémentaire Φ est nommé *réparation*, par Rosen. Nous avons donc un système (M,R), pour *métabolisme* et *réparation*, le deuxième permettant d'expliquer le premier. Pour revenir à mon chat : il possède une fonction métabolique, un ensemble de processus transformant de la matière et de l'énergie, provenant de son environnement, en de la matière et de l'énergie utilisables par l'organisme et dont l'excès est évacué dans l'environnement. Cette fonction métabolique, dont fait partie la nutrition par exemple, est le résultat d'une autre fonction : la réparation. Comme nous nous situons à un niveau formel et abstrait, il n'est pas évident de trouver une correspondance exacte de cette fonction de réparation dans la réalité matérielle du corps de mon chat, mais nous aurons l'occasion d'y revenir.

Cela étant, l'ajout du morphisme *réparation* pour expliquer le morphisme *métabolisme* amène de nouvelles questions : d'où viennent x et Φ ? Sont-ils extérieurs au système vivant, tout comme a provenant de l'environnement ? Le constat de l'autonomie des organismes vivants conduit Rosen à refuser cette hypothèse et à chercher au sein du système déjà en présence les éléments permettant d'assurer cette implication de f. Il va donc identifier l'élément x avec l'élément b en procédant de la manière suivante :

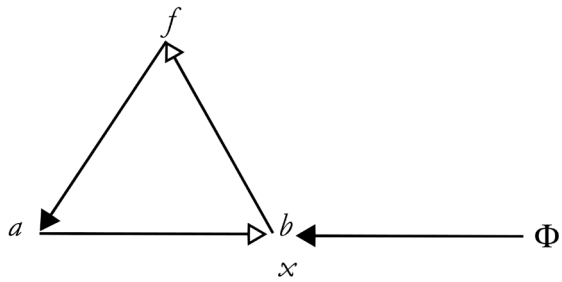


Fig. n°4.
Identification de *x* et de *b*.
Source : composition personnelle à partir de Rosen (1991).

Cette identification peut sembler impossible si l'on prend en compte la vision temporelle de la causalité. Comment un élément, ici f, peut-il être le fruit d'un processus s'appliquant sur un autre élément, b, dont il est lui-même la cause ? N'y a-t-il pas ici un problème d'auto-causation, f participant à sa propre existence, par le biais de la production de b ? Cela pose effectivement question, mais la réponse des biologistes relationnels est que nous travaillons ici avec une causation aristotélicienne, et non moderne. La notion de cause n'a pas le même sens que celui dont nous nous satisfaisons aujourd'hui. Comme le montre le dessin, l'élément f ne remplit pas le même rôle causal dans les deux morphismes ici représentés : il est tantôt cause efficiente, tantôt cause finale. De plus, il s'agit ici d'une représentation formelle d'un système, et cela permet une prise de distance par rapport à la temporalité qui s'applique aux systèmes naturels, c'est-à-dire matériels. Le temps n'a pas d'importance dans le monde formel.

Cependant, il reste une inconnue : d'où provient Φ ? Il constitue le seul élément non expliqué dans ce schéma. De quel morphisme est-il la cause finale ? Pour continuer dans la voie prise par Rosen, une manière de répondre à cette question est d'ajouter des éléments nouveaux pour construire un morphisme, un processus dont résultera l'existence de Φ. Voici la représentation de cette idée :

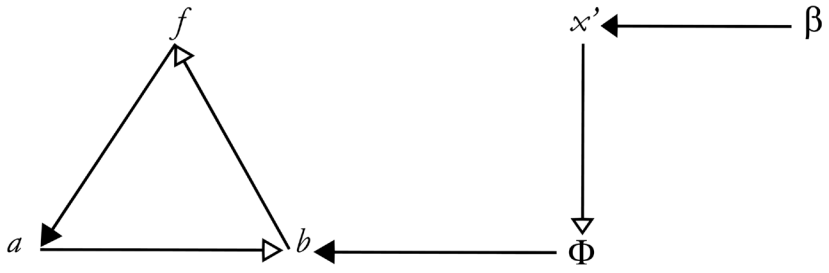


Fig. n°5.
Ajout du morphisme β pour expliquer Φ.
Source : composition personnelle à partir de Rosen (1991).

La cause finale Φ s'obtient à partir d'une cause matérielle *x'* et d'une cause efficiente β, pour l'instant toutes deux encore extérieures au système initial.

Intéressons-nous tout d'abord à *x'*. Il est la cause matérielle du nouveau morphisme β. Ne pouvons-nous pas trouver, dans le schéma à notre disposition, un élément à même de jouer le rôle de cause matérielle pour ce morphisme ? Le seul élément disponible, c'est-à-dire, n'étant pas déjà cause matérielle d'un autre morphisme, est *f*. Rosen va donc opérer une identification de *x'* avec *f* (figure 6), ce qu'autorise une compréhension aristotélicienne de la cause matérielle. En effet, il est tentant de ne considérer cette dernière qu'en tant qu'entité matérielle à proprement parler, c'est-à-dire comme un objet physique quelconque. Cependant, comme nous l'avons signalé, cette exclusivité n'est aucunement la règle. En effet, la cause matérielle aristotélicienne est simplement « ce à partir de quoi la chose est faite » et cette base peut fort bien être de nature non matérielle (comme des lettres pour une syllabe, par exemple). Et cette indétermination de la nature de la cause matérielle permet l'identification opérée par Rosen, puisque *f*, qui est un processus, une action, et qui n'est par conséquent pas une entité matérielle, peut néanmoins être une cause matérielle dans ce nouveau morphisme.

Cette identification de *x'* et de *f* simplifie le schéma et se fait de façon assez aisée avec les moyens à notre disposition. Mais nous n'avons pas fini : il reste un élément encore inexpliqué, β. L'idée magistrale de Rosen est d'identifier β avec l'élément *b*, élément déjà bien connu dans notre système, mais nous allons devoir nous remonter encore plus les manches pour comprendre ce tour de force.

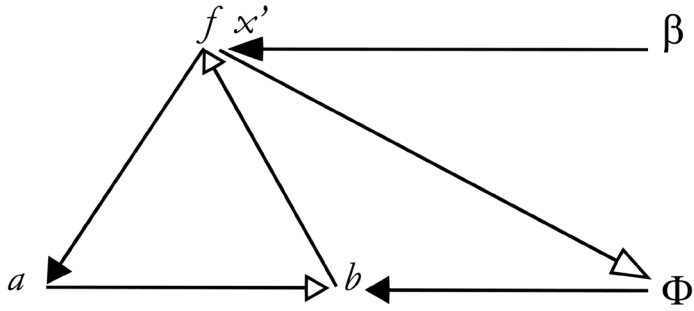


Fig. n°6.
Identification de *x'* et de *f*.
Source : composition personnelle à partir de Rosen (1991).

Ce morphisme β : $f \rightarrow \Phi$, qui est responsable de Φ, est appelé *réplication* par Rosen (Rosen, 1959, p. 115). Une petite remarque ici : le terme choisi par Rosen pour nommer ce morphisme, *réplication*, ne correspond pas à la fonction de réplication de l'ADN qui a lieu durant la mitose. En effet, au moment où Rosen développe ces termes, c'est-à-dire en 1958 et 1959, la biologie moléculaire en est encore à ses débuts puisque la découverte de la structure en double hélice de l'ADN par Watson, Crick et Franklin date de 1953, si bien que le terme de réplication (de l'ADN) n'est pas encore d'usage courant lorsque Rosen développe son (M,R)-Système (Louie, 2009, pp. 268-269).

Ces précisions faites, nous pouvons nous plonger dans la compréhension du morphisme de réplication selon Rosen. Pour cela, nous allons suivre un article publié en 1966 et intitulé *A Note on Replication in (M,R)-Systems* (Rosen, 1966, pp. 149-151). Ce court article d'à peine 3 pages est crucial pour comprendre le tour de force que représente l'intégration du morphisme de réplication dans le système (M,R) déjà présent.

Pour cela, nous avons besoin d'une autre représentation formelle des morphismes qui nous occupent. Le morphisme *métabolisme f* : $A \rightarrow B$ peut à son tour être considéré comme un élément d'un ensemble désigné par H(A,B) et reprenant tous les morphismes allant de l'ensemble A vers l'ensemble B, comme aussi *g* et *h*, par exemple. Graphiquement, cela donne ceci :

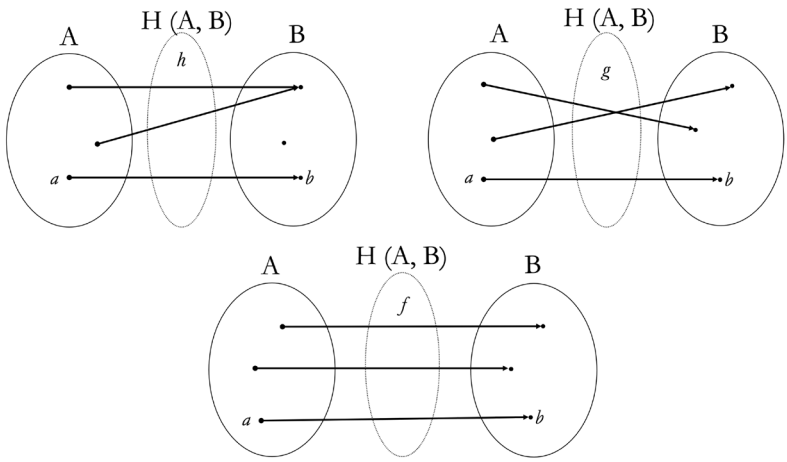


Fig. n°7.
L'ensemble H (A, B) est l'ensemble des morphismes allant de l'ensemble A vers l'ensemble B.

Source : composition personnelle.

Ce que cette représentation (non usuelle !) nous apporte, c'est la possibilité d'utiliser un nouvel élément de la théorie des catégories qui va nous aider à comprendre toutes les subtilités de la biologie relationnelle. Ce nouvel élément est ce que l'on appelle un *morphisme d'évaluation*.

Prenons un ensemble de morphismes H(X, Y) : l'ensemble des morphismes allant de l'ensemble X à l'ensemble Y. À partir d'un élément x de l'ensemble X, il est possible de construire le morphisme d'évaluation suivant : $\hat{x} : \mathrm{H}\,(\mathrm{X}, \mathrm{Y}) \rightarrow \mathrm{Y}$.

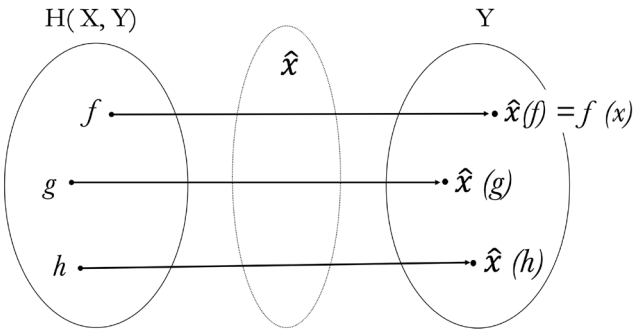


Fig. n°8.
Représentation graphique du morphisme d'évaluation .

Source : composition personnelle.

Ce morphisme $\hat{x}$ a donc comme domaine de départ l'ensemble des morphismes allant de l'ensemble X à l'ensemble Y, et comme domaine d'arrivée l'ensemble Y lui-même (voir figure 8). Nous voyons ici que nous nous sommes élevé·es en abstraction. C'est-à-dire qu'au lieu de considérer simplement des ensembles et d'envisager des relations, des morphismes entre ceux-ci, nous pouvons considérer tous les morphismes entre ces ensembles comme appartenant à un ensemble : H(X, Y), et nous en servir comme de n'importe quel autre ensemble. Le morphisme d'évaluation va donc mettre en correspondance un ensemble de morphismes avec un ensemble d'éléments dont nous ne connaissons pas la nature. Cette prise de distance, cette montée dans l'abstraction est rendue possible par la théorie des catégories et constitue l'un des atouts majeurs de son utilisation en biologie relationnelle.

Le morphisme $\hat{x}$ opère de la façon suivante : $\hat{x}(f) = f(x)$; et ce pour tout f appartenant à l'ensemble H(X, Y), $f(x)$ étant un élément y de l'ensemble Y. Exprimé autrement, cela signifie qu'à partir d'un élément d'un ensemble, nous pouvons construire un morphisme qui mettra en correspondance un morphisme avec le résultat de son application à cet élément. Chaque élément x de l'ensemble X implique donc l'existence d'un morphisme $\hat{x}$, élément de l'ensemble H(H(X, Y), Y). Et la construction de ce morphisme établit un lien entre $\hat{x}$ et x, ce lien ayant pour conséquence d'intégrer X comme sous-ensemble de l'ensemble de morphismes H(H(X,Y) Y) (Rosen, 1966, p. 149), c'est-à-dire l'ensemble des morphismes entre H(X, Y), qui est l'ensemble des morphismes allant de X vers Y, et l'ensemble Y. En effet, l'une des lectures possibles de l'action d'un morphisme c'est que, en établissant une relation entre deux ensembles, il projette les éléments du premier ensemble dans le second. Ce premier ensemble peut donc être considéré comme un sous-ensemble du second, étant donné que tous ces éléments ont une correspondance dans le second ensemble, autrement dit sont projetés dans celui-ci. Ici, l'ensemble X est projeté tout d'abord dans Y, sous l'action de f, puis f et les autres éléments de H(X, Y) sont projetés dans Y, sous l'action de $\hat{x}$.

Or, ce morphisme d'évaluation ressemble étrangement à l'un des morphismes présents dans le système (M, R) que Rosen a construit : le morphisme réparation Φ. En effet, comme nous l'avons vu à la figure 4, le morphisme Φ relie un élément d'un ensemble et un autre morphisme, en l'occurrence l'élément b et le morphisme f. Cependant, il opère ce lien dans l'autre sens (voir figure 9). En effet, au lieu d'aller du morphisme vers l'élément, comme le fait $\hat{x}$, Φ va de l'élément au morphisme. C'est comme si Φ était l'inverse de $\hat{x}$.

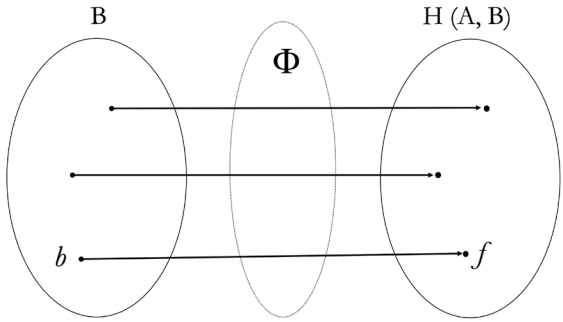


Fig. n°9.
Morphisme Φ allant de l'élément *b*, appartenant à l'ensemble B, vers l'élément *f*, appartenant à l'ensemble H (A, B).
Source : composition personnelle.

Et, en fait, c'est exactement cela ! La théorie des catégories permet en effet de concevoir une telle possibilité grâce à la notion de morphisme inverse. Prenons un morphisme f (A, B). Le morphisme inverse à f, qui sera noté f^{-1}, est, s'il existe, un morphisme, unique, qui va de B vers A et qui respecte les égalités suivantes : $f^{-1} \circ f = 1_A$ et $f \circ f^{-1} = 1_B$. Traduisons cela : si on applique d'abord le morphisme f de A vers B, puis le morphisme inverse f^{-1} de B vers A, on retombe sur l'ensemble A, et comme si nous avions appliqué le morphisme identité 1_A. De même, si nous appliquons d'abord le morphisme f^{-1} de B vers A, puis le morphisme f de A vers B, nous retombons sur l'ensemble B. Si un tel morphisme inverse existe, le morphisme f (A, B) sera appelé *isomorphisme* et les objets A et B seront dits *isomorphes* (Lawvere & Schanuel, 1997, p. 40). L'étymologie du terme est ici éclairante : le mot *isomorphe* vient des termes grecs ἴσος (*isos*, qui signifie « même ») et μορφή (*morphè*, qui signifie « forme »). Deux ensembles isomorphes sont deux ensembles qui ont la même forme. Cela signifie également que chaque élément dans l'ensemble de départ A possède une et une seule image dans l'ensemble d'arrivée B. Φ est donc le morphisme inverse d'un morphisme évaluation allant initialement de f vers b. Le morphisme Φ va de l'ensemble B vers l'ensemble H(A, B).

Nous avons, jusqu'à présent, expliqué les morphismes f et Φ au moyen d'outils proposés la théorie des catégories. L'étape suivante est de s'atteler au troisième morphisme du (M,R)-Système : le morphisme β. Pour cela, commençons par construire, à partir d'un élément b de l'ensemble B, le morphisme évaluation $\hat{b}$. Si ce morphisme est inversible, il détermine un inverse unique noté $\hat{b}^{-1}$. Ce morphisme a la propriété que, si $b = f(a)$ pour tout élément a appartenant à l'ensemble A, et que $\Phi(f(a)) = f$, alors $\hat{b}^{-1}(f) = \Phi$. Autrement dit,

nous sommes ici en présence d'un morphisme qui a pour résultat Φ, comme nous l'espérions. Ce morphisme $\hat{b}^{-1}$ peut donc être appelé β (Rosen, 1966, p. 150). Il est important de rappeler qu'une condition est nécessaire pour que ce morphisme, qui est un morphisme inverse, existe : il faut que le morphisme initial $\hat{b}$ à partir duquel il est construit soit un isomorphisme, c'est-à-dire que chaque élément du domaine de départ ait une et une seule image dans l'ensemble d'arrivée.

Cette notion d'isomorphie nécessaire et fondamentale à la construction d'un morphisme inverse est cruciale, car, en théorie des catégories, deux objets peuvent être considérés comme identiques à un isomorphisme près et peuvent, par conséquent, être utilisés indifféremment l'un pour l'autre. L'isomorphisme, par le fait que tout élément du domaine de départ n'a qu'une et une seule image dans le domaine d'arrivée, est un morphisme qui maintient la structure de l'ensemble de départ, et dont l'inverse maintient également la structure de l'ensemble d'arrivée. Deux ensembles liés par un isomorphisme sont donc identiques dans leur structure. De ce fait, dans le cas qui nous occupe, une association est possible, en termes catégoriels, entre l'ensemble B appartenant à l'ensemble H(H(B, H(A, B)), H(A, B)), dont *b*, fait partie, et l'ensemble de morphismes H(H(A, B), H(B, H(A, B)), dont β, c'est-à-dire $\hat{b}^{-1}$, fait partie. Correspondance qui autorise de remplacer le morphisme β par l'élément *b*, puisqu'ils font tous deux partie d'ensembles identiques à un isomorphisme près. Et ceci nous amène au coup de maître de Rosen, qui fait de l'approche relationnelle en biologie une véritable innovation aboutissant à une proposition originale de définition du vivant. En effet, en identifiant β avec *b*, le schéma d'un (M,R)-Système avec lequel nous travaillions devient :

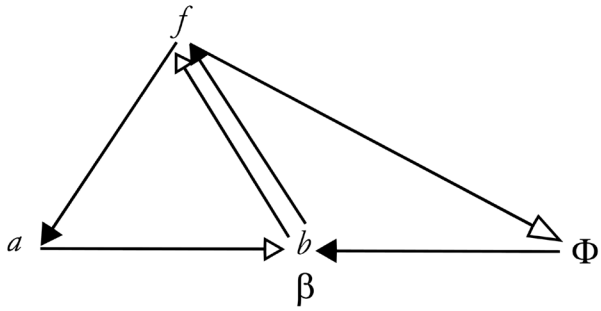


Fig. n°10.
Identification de β et de *b*.
Source : composition personnelle à partir de Rosen (1991).

Et cette dernière figure nous montre que tous les éléments présents dans le modèle ont une explication causale au sein même du système. En effet, à part l'élément *a* dont nous avons déjà dit qu'il provenait de l'environnement, tous les éléments sont le résultat d'un ensemble de causes au sens aristotélicien du terme. Ils sont tous causés de façon efficiente dans le système. Bref, nous sommes en présence de trois processus s'intercausant. Le premier processus, appelé *métabolisme*, est représenté par le morphisme $f : a \rightarrow b$. Le deuxième, le processus de *réparation*, a pour résultat le premier morphisme, il en est la cause efficiente : $\Phi : b \rightarrow f$. Et le dernier, que nous venons de présenter ici et qui est nommé *réplication*, clôture la boucle causale, en causant le morphisme de réparation : $b : f \rightarrow \Phi$. Cette clôture causale peut se représenter graphiquement par le diagramme suivant :

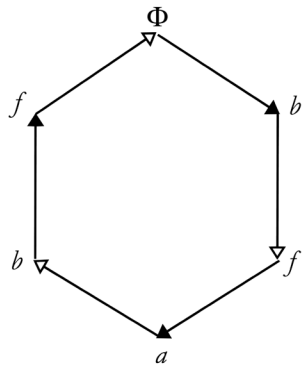


Fig. n°11.
Diagramme circulaire du (M,R)-Système.
Source : composition personnelle à partir de Louie (2009).

Dans ce diagramme, les éléments *b* et *f* sont chacun présents deux fois, mais comme signalé plus haut, ils n'ont pas la même fonction dans les deux cas. En effet, ils sont présents tantôt en tant que cause matérielle, c'est-à-dire qu'ils se situent, dans le schéma, à la fin d'une flèche pleine, tantôt en tant que cause finale, à la fin d'une flèche vide, et en même temps en tant que cause efficiente d'un nouveau processus en se situant au début d'une flèche pleine.

Nous nous retrouvons avec un diagramme circulaire, représentant trois morphismes s'inter-causant. C'est le résultat auquel aboutit Rosen et qui, pour lui, permet de décrire les organismes vivants.

6. Une définition systémique du vivant

Nous avons présenté au début de cet article la motivation derrière le travail de Robert Rosen : construire un modèle des organismes vivants, permettant de rendre compte de leur spécificité en tant que système tout en incluant leur diversité. Cela rejoint ma volonté de comprendre ce que partagent mon chat et ma plante, malgré leur grande diversité de nature et de fonctionnement. L'utilisation de la théorie des catégories a permis l'abstraction nécessaire à une vision globale des vivants en tant que systèmes, possédant les trois mêmes fonctions, susceptibles d'expressions différentes.

Cela amène Rosen à proposer une définition du vivant : c'est un système matériel clos sous causation efficiente (Rosen, 1991, p. 244. Notre traduction). Cette définition ressort de la lecture du diagramme relationnel présenté ci-dessus à la figure 11. En effet, les trois processus, s'appliquant initialement à des éléments externes, provenant de l'environnement, sont causés de manière efficiente au sein du diagramme. Les trois éléments représentant cette causalité efficiente — f, b et Φ — sont causés au sein du système et s'expliquent par l'organisation de celui-ci. Cette clôture causale assure l'autonomie des systèmes vivants.

Ce dernier point est particulièrement important. En effet, une clôture causale est très difficile à défendre, surtout avec la difficulté que l'on peut avoir de se départir d'une conception moderne de la causalité. Retourner à Aristote est nécessaire et la théorie des catégories nous aide à prendre la distance indispensable pour penser cette causalité. Sans la causalité aristotélicienne, on ne peut défendre sérieusement une clôture causale, et sans la théorie des catégories, on ne peut la penser et la formaliser rigoureusement. En mettant l'accent sur les relations, donc les flèches, cette théorie mathématique permet de se focaliser sur l'organisation des systèmes vivants, qui leur est commune, en laissant de côté la matière qui les constitue, qui peut être très diversifiée[9].

Pour Rosen, un système matériel sera donc considéré comme vivant s'il peut être modélisé par un (M,R)-Système : une organisation de trois morphismes représentant des fonctions, fermée sous causation efficiente. Autrement dit, ce système possède une fonction métabolique, causée par une fonction de réparation, elle-même causée par une fonction de réplication, dont le métabolisme est la cause efficiente. Et il n'est nul besoin de connaître la nature des éléments

9. Ré-interprétation d'une phrase de R. Rosen dans *Life Itself* : « *throw away the matter and keep the underlying organization* » (p. 119).

matériels remplissant ces fonctions, puisque l'approche réductionniste, centrée sur la biologie moléculaire et la chimie organique, n'est pas nécessaire pour appréhender la spécificité du vivant.

Rosen ne nie cependant pas que les approches réductionnistes, majoritaires dans la biologie contemporaine, puissent donner des informations très importantes sur le fonctionnement et la structure des organismes vivants. Mais toutes ces informations, même mises bout à bout, ne peuvent rendre compte de la vie comme propriété d'un système. L'approche réductionniste est une manière d'étudier le vivant qui le ramène à un système mécanique. Cette approche ne peut que manquer d'appréhender la vie, puisque, de toute évidence, les organismes possèdent une autonomie et une organisation propre, deux caractéristiques essentielles qu'une approche relationnelle peut correctement représenter, modéliser et formaliser, grâce à la notion de (M,R)-Système.

Comment tout cela peut-il se traduire dans les êtres vivants singuliers que sont mon chat et ma plante, à l'origine de ma réflexion ? Que sont ces trois morphismes, ces trois fonctions dans un petit corps poilu ou un autre feuillu ? Nous avons suivi un chemin de pensée qui nous a mené dans le monde de la formalisation et de l'abstraction. Ce chemin fut nécessaire car sans lui l'idée centrale de l'importance des relations et de leur clôture causale n'aurait pu être rendue aussi rigoureusement. Comment retourner de ce modèle formel et abstrait à la réalité corporelle et matérielle que sont les êtres vivants ? Cette difficulté n'est pas anecdotique et fut d'ailleurs également celle de Rosen, qui la qualifiait de « problème de la réalisation du (M,R)-Système » (Rosen, 1985) : comment ce modèle abstrait peut-il se réaliser effectivement dans un organisme vivant singulier ?

Il est important de rappeler que les morphismes du (M,R)-Système représentent des processus, des fonctions, et pas des éléments matériels comme des organes par exemple. Le morphisme *métabolisme* regroupe donc un ensemble de fonctions s'appliquant sur des éléments extérieurs au système et les transformant en matière ou en énergie utilisable par le système : par exemple, les fonctions d'ingestion et de digestion chez mon chat. Pour la fonction *réparation* et celle de *réplication*, l'affaire se corse. Il s'agit de trouver une fonction, ou un ensemble de fonctions, responsable de l'ensemble de fonctions métaboliques, et une autre expliquant cette première fonction. L'une des hypothèses proposées par d'autres biologistes, à la suite des travaux de Rosen est qu'il faut lire la cause efficiente, l'action des morphismes, comme une action catalytique, assurée par des enzymes (Letelier *et al*, 2006). Les enzymes produites par l'organisme à partir d'éléments extérieurs rendent en effet possibles, dans le même temps,

les fonctions métaboliques capables de les créer. Si cette hypothèse est exacte, un organisme est donc bien la réalisation d'un (M,R)-Système : un système capable de transformer de la matière et de l'énergie, provenant de son environnement, en d'autres formes de matières et d'énergies permettant d'entretenir le système, d'assurer son maintien et son autonomie.

7. Conclusion

En adoptant ce chaton, je m'attendais à des griffes, des ronronnements, quelques vomis et beaucoup d'amour, mais certainement pas à me laisser emporter dans un voyage abstrait et mathématique tel que celui que nous venons d'entreprendre. Partir du quotidien pour tenter de comprendre le général et l'universel est le propre de la pratique scientifique, et réfléchir sur les causes, les conséquences et les impensés de cette pratique est ce qui caractérise une pratique philosophique.

Nous avons ici navigué entre modélisation mathématique et explicitation philosophique de ce mouvement de modélisation. Grâce aux travaux de Rosen et d'autres biologistes relationnels, nous avons pu nous plonger profondément dans l'analyse de ce qui caractérise aussi bien un chat, une plante, que l'être humain qui leur parle et les nourrit. Tous ces êtres partagent une organisation commune, close sous causation efficiente et formalisable grâce à des outils mathématiques : le (M,R)-Système. Il nous a fallu, pour cela, prendre le chemin de la théorie des catégories et de son pouvoir d'abstraction, considérablement rigoureux au point de représenter de manière cohérente les quatre types de causes aristotéliciennes et de montrer l'auto-causation efficiente des systèmes vivants. L'abstraction de cette organisation de relations entre fonctions nous permet de nous défaire de considérations réductionnistes, certes enrichissantes pour l'étude du vivant, mais qui ne peuvent que manquer d'en cerner la singularité. Mon chat et ma plante ne sont pas que des agglomérats d'atomes ou des réseaux d'informations génétiques. S'en tenir à l'analyse de leur composition n'est pas suffisant pour comprendre ce qui les rend vivantes.

Grâce à cette approche du vivant, je peux caractériser mon chaton comme vivant sans qu'il ne se soit déjà reproduit — et sans qu'il ne le fasse jamais — et donc sans que l'on puisse lui attribuer les caractéristiques d'une évolution darwinienne. L'individu que j'ai face à moi est vivant, tout comme la plante qu'il prend un malin plaisir à mordiller, car ce sont tous deux des systèmes matériels clos sous causation efficiente — ce que ne sont ni la table ni l'ampoule

auxquelles je les ai comparés. Ces êtres sont vivants, car ils possèdent en eux les causes de leur propre maintien.

Négliger la nature des éléments matériels qui composent les êtres vivants et se centrer sur leur organisation pourrait avoir des conséquences encore plus riches. Cela invite en effet à se demander si des formes de vie non terrestres, éventuellement constituées d'éléments totalement différents de ceux que l'on connait sur Terre, ne répondraient pas à cette même organisation de relations. Peut-être que mon chat partage avec E.T. plus que le fait d'être mignon…

8. Pour aller plus loin

La biologie relationnelle de Rosen a peu été comprise et réutilisée par d'autres biologistes, mais quelques personnes ont cependant poursuivi ses réflexions. L'une d'elles est son élève, A. H. Louie, qui a approfondi le formalisme développé par Rosen (dans un ouvrage majeur, *More Than Life Itsel*, 2009) et qui l'a appliqué dans d'autres domaines de réflexions du vivant, comme la symbiose par exemple (Louie, 2010, *Relational Biology of Symbiosis*).

D'autres travaux contemporains s'inspirent de ceux de Rosen pour discuter du caractère calculable (*computable*) de la caractéristique principale des organismes vivants, la clôture sous causation efficiente. En effet, Rosen affirme de nombreuses fois que la clôture causale n'est pas calculable et que cela pose une ligne de démarcation entre les organismes et les machines (mais qui n'exclut tout de même pas une possibilité de création artificielle de la vie). Voir par exemple les travaux de Matteo Mossio *et al.* (2009, *A Computable Expression of Closure to Efficient Causation*) ainsi que ceux de Marìa Luz Càrdenas *et al.* (2010, *Closure to Efficient Causation, Computability and Artificial life*).

Des philosophes francophones ont également porté de l'intérêt à la biologie relationnelle, comme Franck Varenne dans son ouvrage *Formaliser le vivant* (2010), et Gilbert Lechermeier dans *Le vivant : la singularité et l'universel* (2019). On peut trouver dans ces deux ouvrages une approche claire et contextualisée de la biologie relationnelle.

Bibliographie

Aristote (2012). *La physique* (trad. A. Stevens). Paris : Vrin.

Beauzée, N. (1767), *Grammaire générale ou Exposition raisonnée des éléments nécessaires du langage, pour servir de fondement à l'étude de toutes les langues* (tome II). Paris : Barbou.

Càrdenas, M. L., *et al.* (2010), Closure to Efficient Causation, Computability and Artificial Life, *Journal of Theoretic Biology*, 263, 79-92.

Cleland, C.E., & Chyba C.F. (2002). Defining 'Life'. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 32, 387-393.

Eilenberg, S., & MacLane, S. (1945). General Theory of Natural Equivalences. *Transactions of the American Mathematical Society*, 58 (2), 231-294.

Jeangène Vilmer, J.-B. (2011), *L'éthique animale*. (Que sais-je ?). Paris : PUF.

Joyce, G. F. (1994). Avant-propos. Dans D.W. Deamer & G.R. Fleischaker (eds.), *Origins of Life : The Central Concepts* (pp. XI-XII). Boston : Jones & Bartlett.

Koyré, A. (1973). *Du monde clos à l'univers infini*. Paris : Gallimard.

Lawvere, F.W., & Schanuel, S.H. (1997). *Conceptual Mathematics : A First Introduction to Categories*. Cambridge : Cambridge University Press.

Lechermeier, G. (2019), *Le vivant : la singularité et l'universel*. Paris : Éditions Matériologiques.

Letelier, J.-C., *et al.* (2006). Organizational invariance and metabolic closure : Analysis in terms of (M, R)-systems. *Journal of Theoretical Biology*, 238, 949-961.

Louie, A.H. (2009). *More Than Life Itself : A Synthetic Continuation in Relational Biology.* Frankfurt : Ontos Verlag.

Louie, A.H. (2010). Relational Biology of Symbiosis. *Axiomathes*, 20, 495-509.

Mikulecky, D.C. (2001). Robert Rosen (1934-1998) : A Snapshot of Biology's Newton. *Computer and Chemistry*, 25, 317-327.

Mossio, M., *et al.* (2009), A Computable Expression of Closure to Efficient Causation. *Journal of Theoretical Biology*, 257, 489-498.

Rosen, R. (1959). A Relational Theory of Biological Systens II. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 21, 109-128.

Rosen, R. (1966). A Note on Replication in (M,R)-Systems. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 28, 149-151.

Rosen, R. (1985). Organisms as Causal Systems Which are not Mechanisms : An Essay into the Nature of Complexity. Dans R. Rosen (eds.), *Theoretical Biology and Complexity : Three Essays on the Natural Philosophy of Complex Systems* (pp. 165-203). London : Academic Press.

Rosen, R. (1991). *Life Itself : A Comprehenisve Inquiry into the Nature, Origin, and Fabrication of Life*. Cambridge : Cambridge University Press.

Varenne, F. (2010), *Formaliser le vivant*. Paris : Hermann.

Viennot, E. (2018). *Le langage inclusif : pourquoi, comment.* Paris : Éditions iXe.

Revue des Questions Scientifiques, 2022, 193 (1-2) : 95-116

À 4 mains... minimum !

Une interprétation relationnelle de la physique quantique

Alice van Helden
Département Sciences, Philosophies et Sociétés
Université de Namur
alice.vanhelden@unamur.be

Avec la complicité pédagogique de
Savannah Milliex

Résumé. – Une interprétation de la physique quantique est un système de propositions philosophiques (ontologiques) qui cherche à expliquer les phénomènes quantiques observés expérimentalement en décrivant la constitution de la matière au sens large, ainsi que ses propriétés. L'interprétation relationnelle en est une, qui est présentée ici sous un angle réaliste (en l'occurrence sans donner de statut physique particulier aux observateurs conscients) de manière à pouvoir être comprise par la majorité, et sans prérequis, c'est-à-dire en évitant d'utiliser le formalisme mathématique. Bien qu'on puisse la présenter simplement, elle soulève tout de même des questions qui seront brièvement traitées pour donner un aperçu des pistes de recherches dans ce domaine.

Abstract. – Interpretating quantum physics involves creating a system of philosophical (ontological) propositions that attempts to explain experimentally observed quantum phenomena by describing the composition of matter (in the broad sense of the term), as well as its properties. One of these is the relational interpretation, which is presented here from a purely realistic point of view (i.e., without granting any particular physical status to conscious observers) so as to be more widely understood, without the need for any prerequisite training, and thus excludes the use of mathematical formalism. Although presenting this interpretation is a fairly simple task, it still raises certain questions that will briefly be addressed in order to provide an overview of the various avenues of research in this field.

Mots clés. – Interprétation — Ontologie — Physique quantique — Relatif — Relationnel

Plan

1. Introduction
2. Expériences
   2.1. Expérience des fentes de Young
      2.1.1. Expérience initiale
      2.1.2. Expérience photon par photon
      2.1.3. Perturbation par un détecteur
   2.2. Expérience de Stern et Gerlach
      2.2.1. Expérience initiale : le spin
      2.2.2. Déclinaison à plusieurs détecteurs
   2.3. Expérience d'Alain Aspect
      2.3.1. Principe de l'expérience
3. Interprétation relationnelle des expériences
4. Analyse ontologique
5. Conclusion

1. Introduction

De quoi le monde qui nous entoure est-il fait ? Qu'est-ce qui explique d'une part cette diversité de formes qui semblent bien séparées et indépendantes les unes des autres, et d'autre part cette matérialité qui leur est commune ? Cette question est si simple à poser, elle fait partie de nos interrogations depuis des milliers d'années, et pourtant nous n'en possédons pas encore la réponse.

Prétendre avec les idéalistes que ces formes sont issues de nos propres structures mentales n'est pas vraiment répondre à la question. Faire le choix d'un instrumentalisme[1] pour la suspendre, par pragmatisme ou par pessimisme quant à notre capacité à y répondre, est une issue facile, mais aussi une fuite. Ce qu'on attend lorsqu'on pose cette question est une explication dite réaliste, qui nous dise comment *sont* les choses et non comment nous les pensons.

La physique quantique rassemble pour l'instant les modèles qui décrivent le mieux les observations faites au niveau fondamental. Toutefois, ces modèles n'incluent pas d'explication des phénomènes physiques observés en termes d'objets réels produisant les effets que nous observons. Une explication de ce type est qualifiée d'interprétation de la physique quantique et il en existe une bonne dizaine actuellement[2].

Chacune d'entre elles implique une vision du monde physique différente et il y a lieu de choisir dans ce panel selon les présupposés philosophiques qui

1. Position philosophique qui choisit de ne traiter que les questions qui sont testables expérimentalement.
2. Pour un exposé détaillé et exhaustif du panel d'interprétations existantes, lire Laloë, 2018.

les sous-tendent. Le principe de non-contradiction, selon lequel on ne peut pas être une chose et son contraire en même temps et sous les mêmes rapports, est un exemple de ce type de présupposés. Concrètement, on peut être à la fois grand et petit à des moments différents (si on grandit entretemps) ou par rapport à des références différentes (par rapport à une fourmi ou à une maison), mais jamais en même temps et par rapport au même objet. Ce principe est généralement considéré comme un principe directeur pour les réalistes, c'est pourquoi les interprétations qui le violent ne leur paraîtront pas satisfaisantes. De même pour les interprétations basées sur un pouvoir d'intervention de l'observateur sur l'état de l'objet observé, ou de manière générale, celles qui font de l'observateur conscient un objet particulier sur le plan physique.

Auprès du grand public, cette affirmation selon laquelle l'observateur détermine l'état observé est souvent présentée comme un fait, alors qu'elle n'est que peu présente dans le paysage interprétatif actuel. La recrudescence du réalisme dans les nouveaux courants philosophiques s'accompagne d'une revalorisation des interprétations de la physique quantique compatibles avec le réalisme, et ce depuis une cinquantaine d'années. L'interprétation développée ici sera présentée sous un angle qui maximise cette compatibilité. Mais, par souci d'exhaustivité, je signalerai en note les points de divergence qui permettent une adaptation à d'autres systèmes philosophiques.

Partons de la base : les faits expérimentaux. Les trois expériences qui ont montré de la manière la plus évidente la difficulté de comprendre la nature de la matière sont l'expérience des fentes de Young, l'expérience de Stern et Gerlach et les expériences d'intrication, dont nous ne présenterons que le dispositif le plus simple, celui d'Alain Aspect.

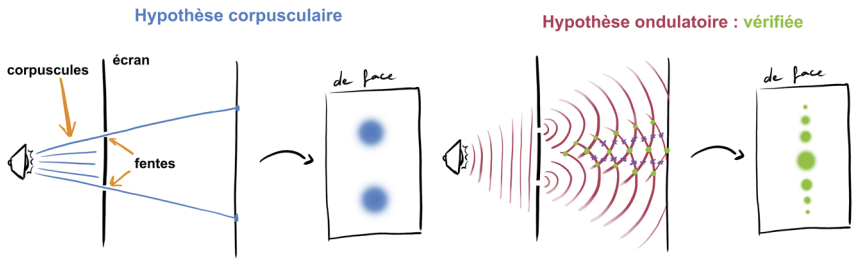
2. Expériences

La première version de l'expérience des fentes de Young est bien antérieure à la physique quantique, elle a été réalisée par Thomas Young en 1801, d'où le nom qui lui a été donné. Par la suite, elle a été déclinée de diverses façons afin de mettre en évidence les effets quantiques (Young, 1804 ; Geoffrey, 1909 ; Jönsson, 1961).

2.1. Expérience des fentes de Young

2.1.1. Expérience initiale

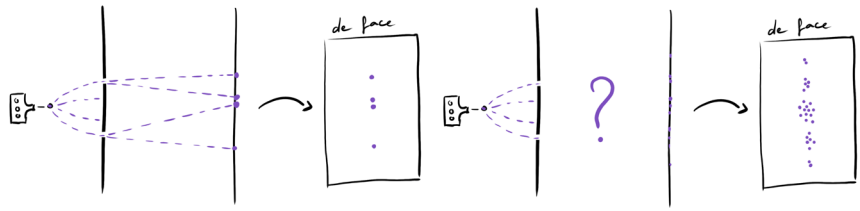
On projette de la lumière sur une plaque percée de deux fentes. On observe la figure projetée sur un écran. Des corpuscules projetteraient deux taches lumineuses alors qu'un milieu continu parcouru d'une onde (comme la surface d'un lac) produirait une figure d'interférences : une alternance de taches claires et sombres due à l'interaction des ondes provenant des deux fentes (à la surface d'un lac, lorsqu'une crête rencontre une crête, elles fusionnent en une crête plus haute, mais lorsqu'une crête rencontre un creux, ceux-ci s'annulent et la surface devient plate). C'est cette dernière figure qui est effectivement observée, ce qui indique une nature de continu.



Illus. n°1.
Expérience historique des fentes de Young.

2.1.2. Expérience photon par photon

On peut aussi envoyer la lumière par très petites quantités à la fois (= photons).



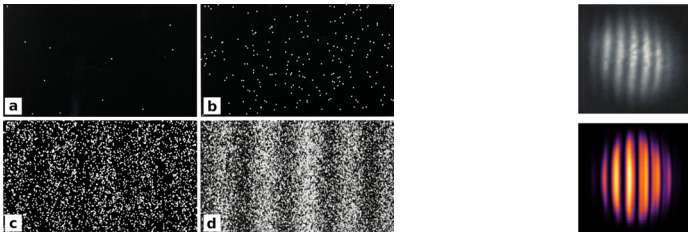
Illus. n°2.
Fentes de Young avec une lumière atténuée (par petits « paquets » de lumière à la fois).

Dans ce cas :

1. Il est impossible de prévoir à quel endroit chaque photon impactera l'écran (c'est ce qu'on appelle l'indéterminisme quantique).

2. Une accumulation d'un grand nombre de photons reproduit la même figure d'interférences que lorsqu'on les envoie tous en une fois, alors même qu'ils ne peuvent pas interagir entre eux.

On peut faire la même expérience avec des électrons et des atomes, ce qui indique que la matière présente également un caractère de continu ondulatoire.



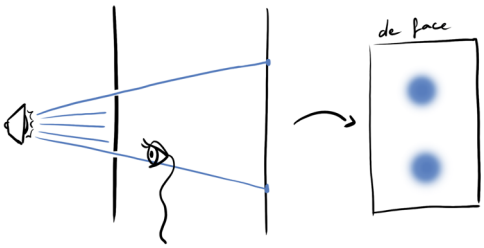
Illus. n°3.
Variations de l'expérience des fentes de Young en utilisant de la matière.

À gauche : en utilisant des électrons envoyés un par un, qui s'accumulent entre l'image a et l'image d (Source : https://commons.m.wikimedia.org/wiki/File:Double-slit_experiment_results_Tanamura_4.jpg).
À droite : en utilisant un gaz d'atomes de Rubidium artificiellement maintenus dans un état quantique. L'image en couleur est ce que prévoyait la simulation de cette expérience.

Source : Burchianti *et al*. (2020).

2.1.3. Perturbation par un détecteur

Lorsqu'on place à la sortie d'une des fentes un détecteur qui ne détruit pas les photons, mais dans lequel ils laissent une trace de leur passage, on observe cette fois les taches qu'on attendrait d'un comportement corpusculaire.



Illus. n°4.
Variation avec détecteur de l'expérience des fentes de Young.

Cet effet peut être interprété de différentes façons, et ne signifie pas forcément que c'est l'observateur qui modifie le comportement des photons, nous le verrons par la suite.

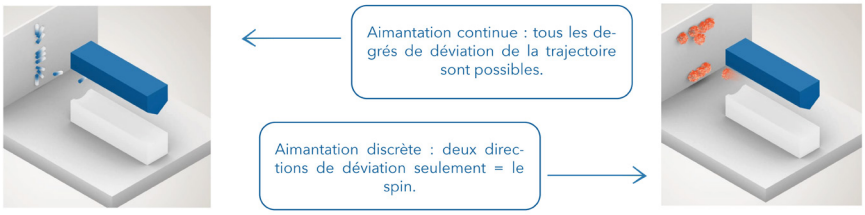
Remarquez que nous parlions d'investiguer la matière, alors que ce qui est étudié ici est plutôt la lumière, qui n'est pas de la matière dans le sens courant. J'emploie en effet le terme de matière dans un sens très général qui est celui d'une substance, c'est-à-dire quelque chose qui existe par soi-même et non pas en tant que propriété d'autre chose[3].

2.2. Expérience de Stern et Gerlach

L'expérience de Stern et Gerlach (1922) a été réalisée dans les années 1920, en utilisant des atomes d'argent et d'hydrogène, mais il est plus intéressant d'utiliser des électrons (car le comportement des atomes d'argent et d'hydrogène est en fait dû à leurs propres électrons), ce qui n'a pu être réalisé que plus tard pour des raisons techniques.

2.2.1. Expérience initiale : le spin

On fait passer un faisceau d'atomes ou d'électrons dans un champ magnétique (c'est-à-dire entre deux aimants de forme particulière), dont l'intensité varie de façon uniforme, de façon à dévier la trajectoire de tout aimant qui y passerait en fonction de l'orientation de ses pôles. Le faisceau se divise en deux faisceaux distincts, alors qu'on s'attendrait à ce que la déviation varie de façon continue.



Illus. n°5.
Expérience de mise en évidence du spin.

Source de l'image des aimants : https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/00/Spin_quantique_et_expérience_de_Stern_et_Gerlach.ogv

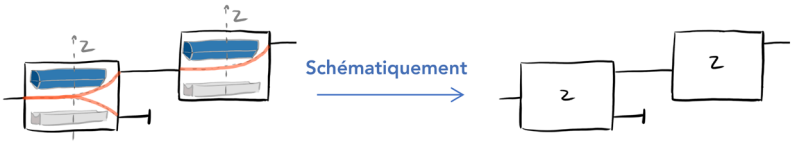
3. Cette définition s'applique aussi bien à la matière au sens propre qu'à son complémentaire, l'antimatière, mais aussi la matière noire (un type de matière exotique encore mal connu), ainsi que les champs et rayonnements (dont la lumière fait partie), toutes ces notions renvoyant à des types différents de matérialité.

Cela signifie que l'aimantation des électrons (et par extension des atomes) n'est pas continue, mais discrète, c'est-à-dire qu'elle ne peut prendre que certaines valeurs — et non pas toutes — dans un intervalle donné. Le dispositif de Stern-Gerlach permet ainsi de mesurer ce qu'on appelle le « spin » d'un électron : « up » ou « down » selon la direction de déviation.

2.2.2. Déclinaison à plusieurs détecteurs

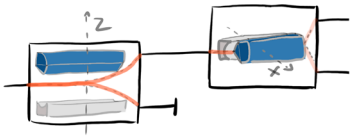
On aligne un deuxième dispositif identique sur l'un des faisceaux qui sortent du premier dispositif. On peut ainsi réaliser plusieurs variations intéressantes de l'expérience initiale.

On aligne un second dispositif sur l'un des faisceaux sortant du premier :

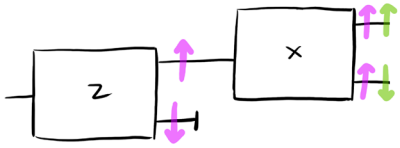


→ Un seul faisceau en sort

On tourne le second dispositif à 90° :

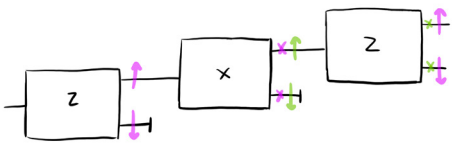


→ Deux faisceaux en sortent

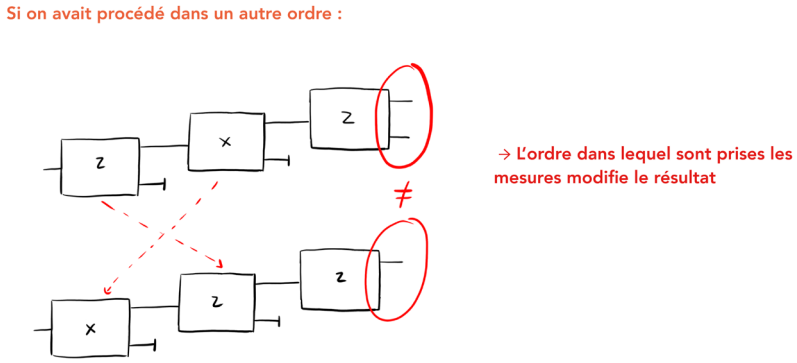


→ Logiquement, on s'imagine que les électrons sortants accumulent les deux propriétés : spin up selon l'axe z et spin up ou down selon l'axe x.

On ajoute alors un troisième dispositif à la suite, à nouveau orienté selon l'axe z :



→ L'idée de propriétés combinées doit être écartée, puisqu'on retrouve de nouveau du spin down selon z à la sortie (alors que tous les électrons entrant dans le 3ème dispositif étaient censés être de spin up selon z).
Tout se passe comme si la propriété « spin selon x » avait réinitialisé la propriété « spin selon z ».



Illus. n°6.
Variations de l'expérience de Stern-Gerlach.

Les spins mesurés selon des axes perpendiculaires sont incompatibles ; la mesure de l'un balaye la valeur précédente de l'autre. On observe cette même incompatibilité pour d'autres paires de variables, notamment la position et l'impulsion (c'est-à-dire la masse multipliée par la vitesse). Tous ces phénomènes sont généralement désignés par l'appellation « incertitude » ou « indétermination de Heisenberg »[4] et peuvent être interprétés soit comme le fait qu'on ne peut pas mesurer ces variables simultanément avec précision (une incertitude, donc) soit comme le fait que les propriétés correspondantes ne peuvent en elles-mêmes pas avoir une valeur précise en même temps (une indétermination).

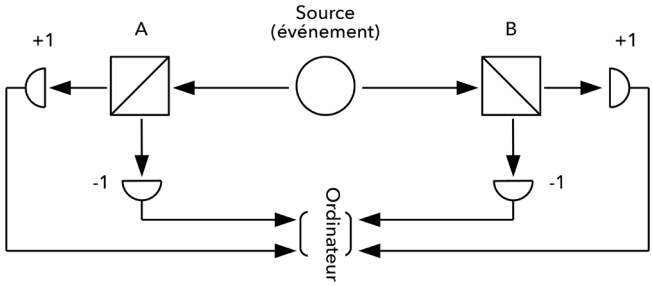
2.3. Expérience d'Alain Aspect

L'expérience suivante met en évidence le phénomène d'intrication (Aspect, Grangier, & Roger, 1982) entre deux objets quantiques, qu'on appelle aussi « paire de Bell » en référence au physicien qui l'a étudié le plus en détail et a proposé une façon de le tester avec précision (Bell, 1964)[5].

4. Bien qu'en toute rigueur, celle-ci ne concerne que le couple position/impulsion.
5. Notez que John Bell n'est pas le premier physicien à imaginer des situations mettant en évidence un phénomène d'intrication, l'idée originale est à attribuer à Einstein et plusieurs de ses collègues ont également apporté leur pierre à l'édifice (Schrödinger, Podolsky, Rosen...), mais cette discussion restait alors théorique et l'intrication discutée impossible à tester en l'état.

2.3.1. Principe de l'expérience

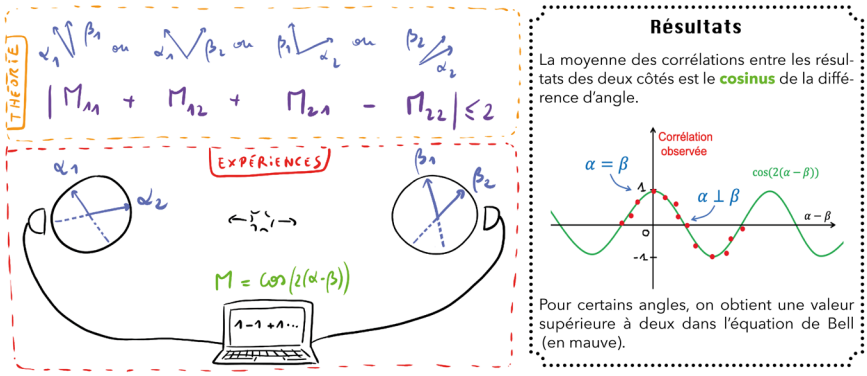
Deux photons sont produits par un même événement (par exemple la désintégration d'un atome) et envoyés dans des directions opposées. On place des polariseurs à égale distance des deux côtés (A et B).



Illus. n°7.
Schéma de l'expérience d'intrication d'Aspect.
Les symboles carrés représentent les polariseurs, les demi-cercles sont des détecteurs de photons.

Un polariseur est une sorte de grille qui filtre la lumière oscillant selon une certaine direction, cette direction étant appelée polarisation. C'est ainsi que l'on mesure la polarisation selon un angle : si le photon franchit le polariseur, c'est qu'il a cet angle de polarisation, et un compteur enregistre +1. S'il a un angle de polarisation perpendiculaire, il est réfléchi, et un compteur enregistre -1. Les photons sont ici produits avec la même polarisation, mais celle-ci peut changer lors du passage dans les polariseurs (car comme dans l'expérience de Stern et Gerlach, la mesure « perturbe » d'une manière ou d'une autre l'état de la particule).

On fait varier les angles des polariseurs A et B l'un par rapport à l'autre et, pour chaque paire d'angles, on mesure les corrélations entre les passages des deux côtés. C'est-à-dire que l'ordinateur multiplie le résultat du compteur de chaque côté puis additionne tous ces produits sur un grand nombre de lancers et divise par ce nombre (autrement dit, il en fait la moyenne). Donc, à la première étape, si les résultats sont identiques (+1 et +1 *ou* -1 et -1), le produit sera +1, et s'ils sont différents (+1 et -1 *ou* -1 et +1), le produit sera -1. Ainsi, lorsqu'on moyenne ensuite tous ces produits, on obtiendra +1 si les photons avaient tous la même polarisation, -1 s'ils étaient tous polarisés perpendiculairement, et 0 s'ils étaient décorrélés (parfois dans le même état, parfois pas, et sans que l'un prenne l'ascendant sur l'autre sur un grand nombre de lancers).



Illus. n°8.
Résultats de l'expérience d'intrication d'Aspect.

On peut conclure de cette expérience — et d'autres similaires qui l'ont reproduite ou complexifiée (notamment Hardy, 1992) — que la nature ne respecte pas toujours l'inégalité de Bell (la somme des moyennes en mauve dans l'illus. n°8). Mais la démonstration mathématique que Bell a faite de cette inégalité est correcte, donc la seule façon d'expliquer qu'elle ne soit pas toujours vérifiée est qu'au moins l'un des présupposés dont Bell est parti pour la démontrer n'est pas respecté dans la nature. Ainsi, on doit accepter au moins l'une de ces hypothèses (qui sont les négations de ces présupposés) :

1. il n'y a pas d'explication aux corrélations entre les polarisations (on abandonne le principe de raison) ;
2. il y a une explication causale à ces corrélations, mais qui n'est pas spatio-temporelle ;
3. il y a une rétrocausalité (un effet du futur sur le passé) ;
4. il y a une action instantanée à distance (hypothèse dite « de non-localité »)[6].

On choisit généralement la quatrième. Certains physiciens qui ont travaillé sur des expériences du même type proposent plutôt d'embrasser la deuxième (Gisin, 2012), c'est-à-dire de considérer qu'il existe des causes physiques non spatio-temporelles. Nous sommes déjà familiers avec ce type de causes dans le domaine non physique des relations humaines. Par exemple, lorsqu'un soldat meurt à la guerre, sa femme est instantanément veuve, d'un point de vue

6. Notez que c'est toujours une action spatio-temporelle, au sens où elle a une valeur dans le temps (« instantanée ») et dans l'espace (« à distance »). Distinguer « hors du temps » et « instantané », c'est un peu comme distinguer « rien » et « zéro ».

légal, même sans le savoir. En effet, les lois humaines n'ont pas à se plier aux contraintes des mouvements dans l'espace, puisqu'elles ne sont pas de nature physique. On pourrait alors imaginer qu'il existe dans la nature un type d'être similaire à ces relations.

La question de l'interprétation du phénomène d'intrication reste en débat, mais on peut mentionner que la simple non-localité bute sur certaines variations plus complexes des expériences d'intrication qui mettent aussi en évidence des corrélations (sans communication possible) à travers le temps (Kim, et al., 2000).

3. Interprétation relationnelle des expériences

Selon les défenseurs de cette interprétation, la clé de ces énigmes est l'interaction[7]. Un objet quantique est toujours une onde lorsqu'il se *déplace* et toujours une particule lorsqu'il *entre en contact avec* un autre objet. Les changements brusques de certaines propriétés (comme dans l'expérience de Stern-Gerlach) se font toujours lors d'un changement d'appareil de mesure, donc d'interaction, puisque, rappelons-le, une mesure n'est rien d'autre qu'une interaction entre l'appareil qui prend la mesure et ce qui en fait l'objet. Les comportements probabilistes ne sont jamais observés sur une seule particule, mais sur un ensemble de particules, donc sur un ensemble d'interactions qui sont chacune différentes puisque, si l'appareil de mesure demeure, la particule observée est toujours renouvelée.

Ainsi, la position, l'impulsion, la direction du spin, sont des propriétés relationnelles au sens où elles n'existent que par la relation entre deux objets en interaction, plutôt que d'appartenir à un seul objet. Par contre, la charge électrique d'un électron ou la fréquence d'un photon sont des propriétés intrinsèques, car elles sont ce qui fait d'un électron un électron et d'un photon un photon. Ce sont des propriétés « de nature », généralement nommées « propriétés essentielles » dans la littérature philosophique, en référence au concept d'« essence » des choses. Étonnamment, on se rend compte que le fait d'être une onde ou un corpuscule n'est donc pas une propriété essentielle, mais plutôt une propriété relationnelle, qui dépend de ce avec quoi l'onde ou le corpuscule interagit.

7. L'article fondateur est celui de Rovelli (1996). Pour une version vulgarisée de l'interprétation telle que la conçoit Rovellin cf. Rovelli (2021). Pour une mise en évidence précoce de l'intérêt d'une description relationnelle, lire Teller (1986).

Dans l'expérience des fentes de Young, la lumière se déplace comme une onde dans les fentes, avec lesquelles elle interagit. Ainsi, elle possède des propriétés associées aux ondes telles que la fréquence, la vitesse de propagation, etc. Par contre, elle n'a pas de position bien localisée, elle se répand sur une large étendue. Lorsqu'elle arrive sur l'écran, elle est absorbée par la matière qui le compose, ce qui constitue un autre type d'interaction et lui confère donc d'autres types de propriétés. Elle acquiert alors notamment une position précise et un aspect corpusculaire[8].

Le principal sujet d'étonnement de l'expérience de Stern-Gerlach est le fait que la mesure d'un spin efface la valeur de l'autre. Ceci impose d'admettre d'ajouter au modèle un principe supplémentaire, à savoir que certaines propriétés relationnelles sont incompatibles, c'est-à-dire qu'il n'existe aucune interaction susceptible de les générer toutes les deux simultanément. Chaque interaction produira soit l'une, soit l'autre, soit aucune des deux. Ici, les orientations du spin selon deux axes perpendiculaires sont des propriétés de ce type. Ce qui est amusant, c'est que l'expérience nous amène à considérer l'aimantation selon une direction comme une propriété distincte de l'aimantation selon une autre direction. D'autre part, lorsqu'on ajoute un détecteur à l'expérience, celui-ci interagit avec le photon, même s'il ne l'absorbe pas, et c'est la raison pour laquelle le comportement ondulatoire disparait : la présence du détecteur (peu importe qu'il y ait un observateur ou pas) rend le photon corpusculaire.

Les partisans de l'interprétation relationnelle proposent souvent une résolution très élégante, quoique tautologique, de la difficulté soulevée par l'expérience d'Aspect (Smerlak, 2014). En effet, puisque c'est l'interaction entre deux objets qui rend réelle une propriété, il faut que deux objets interagissent pour pouvoir comparer leurs propriétés (tant qu'elles sont relationnelles). Or dans cette expérience, les paires de photons sont précisément dans une situation qui rend impossible toute interaction entre eux. Donc, il est impossible de comparer leurs polarisations par rapport à leurs polariseurs respectifs au moment où elles sont mesurées. Ce n'est que lorsque l'ordinateur collecte les données que l'on peut constater une corrélation entre les polarisations actualisées plus tôt.

8. La description qui suit est une acception réaliste de l'interprétation, mais on peut aussi la formuler en se tenant strictement à un point de vue d'observateur (Martin-Dussaud, *et al.*, 2019), de sorte à augmenter la compatibilité avec d'autres approches philosophiques qui mettent l'accent sur notre connaissance. Pour ce faire, il suffit de remplacer dans l'ensemble de ce texte le mot « interaction » par « observation », ce qui réduit les propriétés relationnelles à des « observables » prenant une valeur différente pour des observateurs aux points de vue différents.

Mais alors, cette corrélation est locale, car la corrélation elle-même n'est actualisée que par l'ordinateur, quand l'information provenant des deux photons est rassemblée au même endroit. À la lecture de ces données, on ne peut pas dire qu'elles impliquent que cette interaction-ci ait engendré la même propriété que cette interaction-là en même temps, puisqu'il n'y a pas de « même temps ». En fait, une fois qu'on se débarrasse de la vision absolue de ces propriétés, on ne peut même plus formuler le problème. Toutefois, la question reste à creuser, car les corrélations dans les données collectées par l'ordinateur ont beau être locales, on ne parvient pas pour autant à les expliquer. Nous nous permettrons d'introduire à la fin de la section 4. une autre piste d'explication, que l'interprétation relationnelle rend plus facile à envisager après l'analyse de ce qu'on entend exactement par « relationnel ».

Enfin, dans l'interprétation relationnelle, la transition entre l'aspect des corps microscopiques qui composent la matière et l'aspect des corps macroscopiques que nous sommes et au milieu desquels nous vivons se fait sans heurts, sans frontière entre un monde microscopique quantique et un monde macroscopique classique. Simplement, il se fait que les variations que peuvent provoquer les interactions successives sont trop petites pour avoir une influence sur les énormes systèmes de particules que nous avons l'habitude de manipuler. Les interactions s'enchaînent trop vite pour que nous puissions les remarquer, et les petites différences occasionnées se compensent statistiquement à grande échelle[9].

9. Un lecteur ayant déjà lu des textes de vulgarisation pourrait être surpris de ne voir nulle part mentionné le paradoxe du Chat de Schrödinger, qui est une expérience de pensée dans laquelle on lie le destin d'un chat (macroscopique) à la désintégration d'un atome (microscopique) par une chaîne de conséquences impliquant la libération d'un poison. La désintégration étant imprévisible (indéterministe), on considérait anciennement que cet indéterminisme se propageait dans toute la chaîne de conséquences, ce qui rendrait l'état « mort ou vivant » du chat indéterminé également (on parle souvent de « superposition de deux états », mais cette formulation relève de l'interprétation). En réalité, il est établi depuis les années 1980 que cette propagation n'a pas lieu, et ce peu importe l'interprétation. Dès qu'on parle d'objets constitués de plus d'une centaine d'atomes à température ambiante, ce qui est notamment ici le cas du poison, il est impossible de maintenir une description quantique (indéterminisme, superposition, etc.). On ne peut pas expliquer pourquoi le poison est libéré à untel moment et pas un autre, mais on peut expliquer pourquoi on peut être sûr qu'il est soit déjà libéré, soit pas encore libéré, mais ne reste pas dans l'indécision (grâce à un phénomène mathématique qu'on appelle la décohérence et qui implique que plus un corps est chaud, désordonné et constitué d'un grand nombre d'atomes, plus vite la probabilité de conserver des comportements quantiques comme ceux présentés dans les expériences ci-dessus devient négligeable).

4. Analyse ontologique

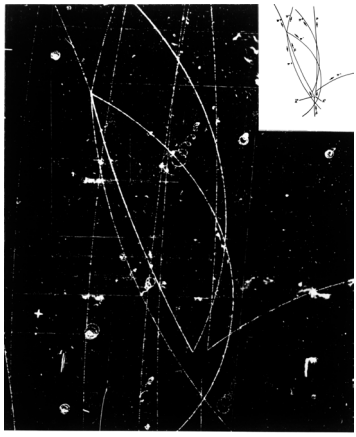
Lorsque les particules sont en interaction, il y a peu de questions à se poser : toutes les propriétés pertinentes dans le contexte de cette interaction sont définies, qu'elles soient relationnelles ou intrinsèques. Par contre, la description de l'état d'une particule libre ou de la transition entre son état libre et son état d'interaction nécessitent une réflexion plus poussée. C'est assurément la position spatiale qu'il est le plus difficile d'imaginer comme non définie. Est-il seulement possible d'exister dans la nature sans posséder de position ? N'est-ce pas implicite dans le concept d'existence qu'il faille exister *quelque part* ?

Cette question s'est déjà posée dans l'histoire de la philosophie, mais souvent dans des contextes qui ne peuvent pas nous être utiles ici. Chez Kant par exemple, ce qui constitue la réalité (la « chose en soi ») n'est pas spatial, mais nous ne pouvons pas nous la représenter sans y appliquer notre notion de spatialité (Kant, 1781, chap. « Esthétique transcendantale »). Par définition, ce système ne nous fournit donc pas de compréhension quant à la façon dont on peut exister sans être situé spatialement. Selon Leibniz par contre, l'espace est ontologiquement postérieur à la matière, c'est-à-dire que son existence découle de l'existence de la matière, et ce qui est ontologiquement premier (qui existe vraiment par soi-même) ce sont les forces qu'il qualifie de « primitives » (Leibniz, 1985, pp. 61-62 ; pour une explication plus complète, voir Hespel, 2003, pp. 167-181). L'existence de la matière est induite par l'existence de ces forces, et celle de l'espace par celle de la matière. Toutefois, bien que ces concepts soient logiquement distincts, ils vont toujours ensemble, la matière est nécessairement spatialisée. Ce n'est pas le cas chez Aristote, car un objet fait exception : le premier moteur qui, selon lui, n'a pas de lieu (Aristote, 2012, 258b10). Il s'agit en effet d'un objet qui génère un mouvement permanent, à la source de tous les autres mouvements, de sorte que l'Univers ne devienne jamais statique (que tous les mouvements ne s'arrêtent jamais). Toutefois, le premier moteur est le seul à exister de cette manière : son mode d'être lui est propre et diffère de ceux de la matière, des propriétés, etc. On ne peut donc pas reprendre la description d'Aristote d'un être non spatio-temporel à notre compte et l'appliquer aux particules matérielles de la physique contemporaine. Il parait donc difficile de trouver dans l'histoire de la philosophie des exemples d'êtres non spatio-temporels qui puissent nous permettre de comprendre les objets quantiques.

Comme si cela ne suffisait pas, un problème de taille se pose si l'on admet que plusieurs particules de matière de même type pourraient se trouver libres

et donc perdre toute propriété spatiale, car il deviendrait alors impossible de les distinguer. On pourrait seulement connaître le nombre total d'électrons dans l'Univers, mettons, mais uniquement de façon abstraite, car les électrons étant absolument identiques en ce qui concerne leurs propriétés intrinsèques, vu leur absence de spatio-temporalité, on ne disposerait d'aucun critère pour distinguer cet état où ils sont censés être plusieurs d'un état où il n'y en aurait qu'un. La recherche des critères permettant d'établir l'identité de deux objets (c'est-à-dire le fait qu'ils sont un seul et même, mais pris à des moments différents par exemple) et d'individualité d'un objet (c'est-à-dire le fait d'être distinguable du reste), est déjà fastidieuse dans d'autres interprétations de la physique quantique, mais elle deviendrait probablement ici tout à fait insoluble.

Enfin, comment expliquer l'observation de trajectoires dans les chambres à bulles (voir Figure 9) si entre chaque interaction avec une molécule de liquide, la particule, libre, ne se trouve plus nulle part ? Pourquoi, si elle ne se trouve plus nulle part, se retrouve-t-elle lors de l'interaction suivante en une position aussi proche de la précédente ? Qu'est-ce qui la contraint à cette continuité ? De même pour l'expérience des fentes de Young : si, en l'absence d'interaction, les particules ne se trouvent plus nulle part entre les fentes et l'écran, pourquoi restent-elles alignées avec la figure d'interférence induite par les fentes ? Cette figure d'interférence, qui est une répartition spatiale, ne devrait pas être conservée après une perte de toute spatialité.



Illus. n°9.
Chambre à bulles.

Si on chauffe très progressivement une cuve de liquide, on peut atteindre un état dit « métastable », c'est-à-dire qui reste liquide malgré qu'il devrait devenir gazeux dans ces conditions. La moindre perturbation provoque alors immédiatement le changement d'état. Ainsi, le simple passage d'une particule laisse une trainée de bulles dans son sillage, là où elle a provoqué l'évaporation locale du liquide.

Source : https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/Bubble_chamber_event._Decay_of_neutral_lambda%2C_anti-lambda_hyperons._Photograph_circa_July_1959._Bubble_Chamber-772A_-_DPLA_-_5141859e360581251906c073668c70de.jpg

L'accumulation de ces problèmes semble indiquer que l'interprétation relationnelle conduit à une impasse, qu'elle n'apporte pas plus de compréhension ni de possibilité de se représenter la matière que les autres interprétations. Cependant, ces problèmes trouveraient une solution toute simple si on pouvait montrer qu'une particule n'est jamais libre, mais qu'elle est en interaction per-

manente. Pour cela, il faudrait soit un principe qui garantisse que lorsqu'une interaction prend fin, une nouvelle lui succède immédiatement, soit mettre en évidence une interaction qui ne cesse jamais, avec un corps qui soit donc éternellement présent partout. Or, il existe plusieurs entités capables de jouer ce rôle. La première est l'espace-temps tel qu'invite à le concevoir la relativité générale. L'interprétation la plus répandue de cette théorie est en effet que l'espace-temps soit un champ, c'est-à-dire un continu, qu'on peut se représenter comme une sorte de gel uniformément présent, à travers lequel évoluent les autres corps. Il est un peu particulier par rapport aux autres champs (comme par exemple les champs électromagnétiques) parce qu'il contient aussi la géométrie, c'est-à-dire qu'il est en quelque sorte « sillonné » de toutes les lignes droites possibles, comme un tissu quadrillé, mais en trois dimensions. Si le tissu se courbe (ou que le gel se contracte, pour rester dans une comparaison à trois dimensions), les lignes droites se courbent et les objets qui se trouvent sur une trajectoire en ligne droite ne peuvent faire autrement que de suivre cette courbe. En effet, de leur point de vue, c'est ça « aller tout droit », même si cela peut paraître « tourner » par rapport à un autre point de vue que le leur, parce que c'est la ligne droite elle-même qui est devenue courbe pour l'autre point de vue.

Le grand public est généralement assez au courant que dans cette représentation, l'espace est courbé par les corps massifs, et d'autant plus courbé que leur masse est grande. Notez que le passage du temps en chaque point change en fonction de cela, c'est pour ça que l'on dit « l'espace-temps se courbe », même si le temps ne peut pas se courber, bien entendu, il ne peut que s'écouler plus vite ou plus lentement.

Si l'espace-temps est bien un champ, alors il est évident qu'aucune parcelle de matière n'est jamais libre, au sens où elle n'interagirait avec rien. Toute parcelle de matière interagit forcément *au moins* avec l'espace-temps. Des changements peuvent survenir lorsqu'elle rencontre une autre parcelle de matière, de sorte qu'elle interagit alors à la fois avec l'espace-temps *et* avec autre chose. Mais l'important est que, dans une telle hypothèse, toute parcelle de matière est toujours quelque part, qu'elle soit ramassée en un point dans son état de particule ou étendue sur une large portion d'espace dans son état ondulatoire.

La supposition que l'espace soit un champ semble dépendre de la validité de cette interprétation de la théorie de la relativité. Or cette théorie entre en conflit avec la physique quantique sur de nombreux points. On pourrait donc se demander s'il est raisonnable de faire reposer une interprétation de la physique quantique sur un modèle avec lequel elle s'avère jusqu'ici incompatible.

Toutefois, on peut parvenir par une autre voie à la conclusion que l'espace est une substance.

On peut notamment en trouver une démonstration dans *Buckets of Water and Waves of Space : Why Spacetime Is Probably a Substance*, un article du philosophe Tim Maudlin (1993) qui reprend les arguments historiques autour de cette question et les connecte à des propositions plus modernes, en explicitant les contraintes auxquelles on doit se soumettre si on veut encore pouvoir considérer que l'espace émerge des relations entre les corps et n'existe pas par lui-même. Au vu de ces contraintes (qui incluent notamment de garantir qu'il y ait de la matière partout, sans aucun « trou » de vide sous peine de perdre toute possibilité de reconstruire les axiomes de la géométrie), il conclut qu'il est finalement plus simple de se reposer sur l'hypothèse que l'espace est lui-même une substance.

Heureusement, même sans accepter cette hypothèse, nous disposons de deux autres candidats pour garantir l'absence de vide : un champ de matière proposé par la théorie quantique des champs sous le nom de « vide quantique » (dont les perturbations localisées sont ce que nous appelons des particules de matière, et qui reste de surcroit toujours présent entre les particules), et le champ de Higgs, qui génère la masse des corps selon le modèle actuel de la physique des particules (et dont l'existence est très probable, sachant qu'on a déjà observé les particules qui traduisent l'action de ce champ sur le reste de la matière, qu'on appelle bosons de Higgs).

Dans tous les cas, ces conclusions servent bien nos objectifs, puisqu'elles garantissent l'impossibilité pour une particule de se trouver absolument seule, du fait de l'omniprésence d'un champ, qu'il s'agisse de l'espace-temps, ou d'un autre. Quelle que soit la solution retenue, jamais il n'arriverait que sa position — et a fortiori le reste de ses propriétés relationnelles — ne soit pas définie.

Il est important de noter que l'adjectif « relationnel » est à distinguer de l'adjectif « relatif », une distinction basée sur la nécessité d'un observateur conscient. Ainsi, pour qu'un objet ait une propriété relative au sens courant, il faut que l'observateur ait une connaissance des caractéristiques de l'objet et de son référent (l'objet de référence auquel on le compare). Les propriétés communément qualifiées de relatives résultent en effet d'une comparaison, et tiennent donc forcément au fait qu'une conscience établit cette comparaison. Par exemple, pour qu'un bocal à poisson rouge soit grand ou petit, il faut qu'on le compare respectivement à un objet plus petit comme le poisson qu'il contient ou plus grand comme la maison qui le contient. Sans quoi, il possèdera

juste une taille, sans que cette taille soit grande ni petite. Dans le langage courant, on utilisera souvent indifféremment « relatif » ou « subjectif », pour indiquer que le passage par la conscience introduit de la subjectivité dans la description. Il est ainsi entendu qu'une propriété relative varie en fonction de l'observateur (donc d'un sujet, d'où le terme « subjectif »). Deux personnes différentes pourront dire d'un objet qu'il est grand ou petit selon leur système de référence, qui dépend de leur propre expérience[10].

Dans la théorie de la relativité, paradoxalement, les propriétés étudiées sont plutôt relationnelles que relatives, au sens où elles dépendent d'une référence extérieure, mais qui n'est pas forcément un observateur conscient. Par exemple, la durée d'un mouvement ne sera pas absolue, elle dépendra du référentiel que nous utiliserons pour la décrire, mais elle ne serait pas plus absolue sans qu'il existe des humains pour faire le lien entre le référentiel et le mouvement qu'il décrit. Le mouvement a bel et bien lieu, ce qui implique qu'il dure effectivement, même si le temps qu'il dure n'est pas une propriété intrinsèque à ce mouvement, mais une propriété qui le met en relation avec les autres mouvements qui l'entourent. Le temps est une propriété qui structure les mouvements les uns par rapport aux autres, mais qui ne repose sur aucune propriété interne absolue (contrairement au fait d'être petit ou grand dans l'exemple précédent, qui repose sur la taille). Il n'est donc pas le résultat d'une comparaison. De ce fait, il n'est pas subjectif, au sens où son existence ne dépend pas de sa perception par un sujet.

Dans l'interprétation relationnelle de la physique quantique, enfin, la relation qui confère des propriétés aux objets a un sens beaucoup plus fort, car il s'agit d'une interaction réelle. Lorsque l'interaction a lieu, la relation n'a pas besoin d'observateur pour être établie, quelle que soit la définition qu'on donne au terme « observateur ». Dire d'une propriété qu'elle est « relationnelle » (dans une optique réaliste, toujours) revient à hypostasier la relation qu'elle qualifie, c'est-à-dire à considérer que la relation existe dans le monde physique et non pas seulement dans notre description du monde. Si c'est l'interaction elle-même qui a des propriétés, c'est qu'elle existe elle aussi, en plus des objets qui interagissent. Et lorsque nous, observateurs, la décrivons, nous ajoutons simplement une interaction supplémentaire avec l'objet physique que

10. Notons qu'on pourrait arguer que le fait qu'un poisson soit plus petit que son bocal ne dépend pas de l'observateur : tous les observateurs arriveront à la même conclusion, mais c'est parce qu'ici on parle de la propriété « être plus petit que », qui est absolue, et non pas de la propriété « être petit », qui, elle, est relative.

nous sommes[11]. On peut dire qu'une interaction est un type de relation, un type de « lien » qui diffère des autres relations (au sens courant) par le fait d'exister sans avoir besoin d'être établi par l'Humain.

Une fois qu'on a introduit ce nouvel objet qu'est une relation non humaine dans la description du monde que nous avons, il est beaucoup plus simple de comprendre l'intrication, en acceptant la deuxième hypothèse proposée dans la section qui lui est consacrée ci-dessus. Il n'y a en effet aucune contradiction à supposer qu'existent des relations liant des objets quantiques en dehors de l'espace et du temps. Ce nouvel objet qu'est la relation n'a pas forcément à être spatio-temporel, de la même façon que la relation légale qui lie le soldat et sa veuve ne l'est pas. Le phénomène d'intrication pourrait s'expliquer par une cause de nature relationnelle. Il faudrait certes encore décrire cette relation de façon plus complète, mais nous pouvons déjà être assurés que son existence n'a rien de contradictoire ni d'incompatible avec la relativité générale.

Une dernière notion qu'il est utile d'introduire est la notion de disposition, ou de potentialité (reprise de Dorato, 2013), afin d'expliquer la continuité entre les interactions successives. En effet, dans l'expérience des fentes de Young, il ne suffit pas de garantir que les propriétés d'un photon sont toujours définies pour expliquer la concordance entre ses états successifs (onde puis corpuscule, mais la même figure d'interférences). Cela s'explique bien mieux en considérant que la forme de l'onde détermine la possibilité du corpuscule de se matérialiser en l'un ou l'autre point. Après avoir interagi avec les fentes, la lumière est présente à certains endroits et elle est absente d'autres endroits (à cause des interférences). Avant de rencontrer l'écran, le photon possède donc une disposition à arriver sur les franges d'interférences constructives, qui se trouvent là où continuerait de se propager l'onde si l'écran n'était pas là, et ne possède au contraire aucune disposition à arriver sur les franges destructives, où rien ne se propagerait de toute façon. Cette potentialité est ensuite actualisée, c'est-à-dire réalisée effectivement, par l'interaction avec l'écran qui fait de la lumière un corpuscule. Quant à l'endroit précis, sur toute la surface des franges d'interférences constructives, où se manifeste alors le corpuscule, il est déterminé par l'interaction de ce corpuscule particulier avec l'écran. Et si l'on se demande comment des corpuscules absolument identiques (puisque les photons

11. Une variation possible permettant d'éviter d'hypostasier les relations est de considérer que seuls les observateurs conscients peuvent donner des propriétés aux objets qu'ils observent, et que ces propriétés ne sont que potentielles en dehors de l'observation. Ceci a pour prix de conférer un statut spécial sur le plan physique aux objets doués de conscience, et donc capables d'être des observateurs (c'est-à-dire les humains et certains animaux).

de l'expérience sont tous identiques) peuvent avoir des interactions différentes avec un même objet, il suffit, pour le comprendre, de se souvenir qu'en réalité, il ne s'agit pas du même objet, puisque l'écran a entretemps été gratifié d'un photon supplémentaire (et probablement d'autres particules passant par-là). Il est donc par principe impossible que deux interactions identiques aient lieu. Comme le disait Héraclite, on ne se baigne jamais deux fois dans la même rivière.

5. Conclusion

Pour résumer, l'interprétation relationnelle permet d'expliquer de manière intuitive les expériences fondamentales de la physique quantique, en postulant que la plupart des propriétés physiques ne sont pas intrinsèques aux particules, mais relationnelles, en ce sens qu'elles n'existent que lors d'une interaction. En dehors des interactions où elles se manifestent, les propriétés sont de l'ordre de la disposition. Pour garantir que certaines propriétés soient toujours définies (notamment la position), on peut s'appuyer sur l'hypothèse selon laquelle l'espace-temps est une substance, ou bien sur celle selon laquelle il existe des champs partout dans l'univers, si bien que toute particule est toujours au moins en interaction avec l'espace ou avec un champ.

Il faut donc s'imaginer que le monde qui nous entoure, bien qu'il nous paraisse stable, est en constante redéfinition. Les constituants de la matière d'une chaise sont en interaction sans cesse renouvelée avec les constituants de l'air, les particules libres qui la traversent, etc., sans oublier les particules plus lointaines avec lesquelles certaines particules de la chaise peuvent être intriquées. Une grande partie de ce qui fait de la chaise ce qu'elle est est ultimement relationnelle. Il n'y a pas de magie à ce que nous ne percevions rien de ces relations dans la vie de tous les jours, que nous ne voyions et ne touchions que des corps localisés, avec des propriétés classiques, puisque nos sens ne sont capables de percevoir que cela. Ils ne sont pas assez fins pour percevoir de si petites et si courtes variations de position, d'énergie ou de forme, et sont totalement incapables (de par leur constitution) de percevoir quelque chose qui n'est pas spatio-temporel. Mais les expériences que nous faisons en laboratoire, alliées aux constructions logiques que nous en tirons, peuvent mieux nous renseigner et compléter l'approximation de nos sens.

Bibliographie

Aristote (trad. 2012). *La Physique* (introduction et traduction de A. Stevens). Paris : Vrin.

Aspect, A., Grangier, P., & Roger, G. (1982). Experimental realization of Einstein-Podolsky-Bohm Gedankenexperiment : a new violation of Bell's inequalities. *Physical Review Letters*, 49, 91–94. doi: 10.1103/PhysRevLett.49.91

Bell, J. S. (1964). On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox. *Physics*, I, 195–200.

Dorato, M. (2013). Rovelli's relational quantum mechanics, anti-monism and quantum becoming. *arXiv*:1309.0132 [quant-ph] (texte issu d'une conférence).

Geoffrey, I. T. (1909). Interference Fringes with Feeble Light. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. 15: 114.

Gerlach, W., & Stern, O. (1922). Der experimentelle Nachweis der Richtungsquantelung im Magnetfeld. *Zeitschrift für Physik*, 9-1.

Gisin, N. (2012). *L'impensable hasard*. Paris : Odile Jacob.

Hardy, L. (1992). Quantum mechanics, local realistic theories, and Lorentz invariant realistic theories. *Physical Review Letters*, 68, 2981–2984. doi: 10.1103/PhysRevLett.68.2981

Hespel, B. (2003). *Outre Newton : quelques images du monde à l'Âge classique*. (Philosophia Naturalis et Geometricalis). Peter Lang.

Jönsson, C. (1961). Elektroneninterferenzen an mehreren künstlich hergestellten Feinspalten. *Zeitschrift für Physik*, 161(4), 454–474. doi: 10.1007/BF01342460

Kant, I. (1781). *Critique de la raison pure*.

Kim, Y.-H. *et al.* (2000). Delayed « Choice » Quantum Eraser. *Physical Review Letters*, 84-1. doi : 10.1103/PhysRevLett.84.1

Laloë, F. (2018), *Comprenons-nous vraiment la mécanique quantique ?*. CNRS éditions, EDP Sciences.

Leibniz, C. W. (1985). Fragment sur la matière première. Dans *Lettres et opuscules de physique et de métaphysique du jeune Leibniz (1663-1671)* (traduction de R. Violette) (pp. 61-62).

Martin-Dussaud, P. *et al*. (2019). The Notion of Locality in Relational Quantum Mechanics. *Found Phys*, 49, 96–106. doi: 10.1007/s10701-019-00234-6

Maudlin, T. (1993). Buckets of Water and Waves of Space : Why Spacetime Is Probably a Substance. *Philosophy of Science*, 60(2), 183–203. doi : 10.1086/289728

Rovelli, C. (1996). Relational Quantum Mechanics. *Theor. J. Phys*., 35, 1637–1678. doi: 10.1007/BF02302261

Rovelli, C. (2021). *Helgoland : le sens de la mécanique quantique*. Flammarion.

Smerlak, M. (2014). L'interprétation relationnelle de la mécanique quantique et le paradoxe EPR. Dans B. d'Espagnat & H. Zwirn (dir.). *Le monde quantique : les débats philosophiques de la physique quantique* (Séance VII). Éditions Matériologiques.

Teller, P. (1986). Relational Holism and Quantum Mechanics. *British Journal for the Philosophy of Science*, 37, 71–81.

Young, T. (1804). The Bakerian lecture. Experiments and calculation relative to physical optics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 94, 1–16.

Revue des Questions Scientifiques, 2022, 193 (1-2) : 117-147

Le mouvement et la Physique contemporaine

Un point de vue néo-aristotélicien[1]

Michel Bastit
Archives Poincaré
Université de Bourgogne
michel.bastit@wanadoo.fr

Résumé. – Une large partie de la physique contemporaine prétend aboutir à l'abolition du mouvement. Les raisons de cette thèse se trouvent dans l'oubli de la sensibilité commune, dans la mathématisation de la physique et finalement dans le refus de la distinction entre puissance et acte. Mais une telle image du monde se révèle pleine de contradictions. Elle montre que l'approche de la physique demande à être complétée par une philosophie de la nature plus proche de l'expérience et du langage ordinaires. Après ce diagnostic on explique comment il est possible sans abandonner les acquis de la physique de faire place au mouvement. On propose d'interpréter le diagramme de Minkowski comme un espace de phases, un ensemble de possibilités donc, où les points occupés sont privilégiés par rapport aux points vides.

Abstract. – A large part of contemporary physics claims that motion has been abolished. The reasons for this argument are to be found in the neglect of common sensitivity, in the mathematizing of physics, and finally in the rejection of the distinction between power and act. Such a view of the world, however, is full of contradictions. This serves to demonstrate that the physical approach needs to be completed by a natural philosophy that is more in keeping with everyday experience and language. After having addressed this assessment, we go on to explain how one can accommodate motion without being obliged to abandon the achievements of physics. An interpretation of the Minkowski

1. Le néo-aristotélisme est un courant qui s'est développé dans le monde anglo-saxon à partir de certains aspects du courant analytique. On compte parmi ses représentants Robert Koons, David Oderberg, Anna Marmodoro, Tuomas Tahko, Edward Feser, William M. R. Simpson entre autres.

diagram is proposed as a phase space, or in other words, as a set of possibilities where the occupied points in space are privileged over the empty points.

Plan de l'article

1. Introduction
2. La subjectivisation de la connaissance du mouvement
   2.1. Sentir le mouvement sans le sens commun ?
   2.2. Pas d'acquaintance
3. Décomposition et effacement du mouvement
   3.1. La discontinuité
4. L'unification univoque
5. Simplification de la physique par les mathématiques
6. Relativisation et disparition du mobile
7. Les dilemmes de l'immobilisme
8. Retrouver la mobilité
9. Conclusion : appel nécessaire à une philosophie de la puissance et de l'acte

1. Introduction

La conception du mouvement est depuis très longtemps un point d'achoppement entre la conception aristotélicienne et la conception de la physique moderne, qui s'est lentement développée à partir de l'éléatisme, du nominalisme, s'est épanouie avec Galilée et reste encore très présente dans le monde contemporain. Le néo-aristotélisme contemporain, qui est un courant philosophique maintenant bien affirmé, se trouve donc lui aussi contraint d'affronter les conceptions modernes du mouvement. Une étude récente d'Edward Feser (2019) a repris toute la discussion sur un plan théorique, afin de démontrer comment la physique contemporaine pourrait encore accueillir la conception aristotélicienne fondée sur la distinction entre l'acte et la puissance. Selon Feser, la physique contemporaine n'est pas condamnée à l'éléatisme.

Le but du présent article est de développer, avec quelques nuances et précisions, la recherche de Feser. Les points principaux sur lesquels nous nous écartons de Feser sont les suivants : 1) nous entendons nous situer sur le strict plan de la philosophie de la nature, plutôt que sur celui de la « métaphysique » entendue au sens contemporain très large[2] ; 2) comme la physique contemporaine conjoint étroitement mouvement et temps, Feser est conduit à traiter la

2. C'est ce qui nous conduit à ne pas prendre en compte le dernier argument de Feser qui est tiré de la distinction *essentia/esse*, laquelle se place sur le terrain directement métaphysique.

question du mouvement très souvent à partir du temps, pour notre part nous chercherons à nous en tenir le plus possible à la seule question du mouvement.

Si l'on admet la conception aristotélicienne de la nature, celle-ci est un principe de mouvement et la Physique[3] est précisément l'étude des réalités mobiles. La destruction du mouvement est donc évidemment ruineuse pour la philosophie de la nature, qui se trouve alors privée d'un coup de son objet et de son premier principe. Or la physique contemporaine, et même largement la physique des âges antérieurs, ont une forte propension à nier le mouvement. Faut-il pour autant dénier à la physique contemporaine toute pertinence dans la compréhension du monde mobile et s'en tenir à la seule physique aristotélicienne ? Il paraît plus fructueux de tenter de réintégrer le mouvement dans la physique en recourant aux analyses de la philosophie de la nature, que certains appellent aujourd'hui métaphysique.

Le mouvement aristotélicien privilégie les mouvements locaux. Aristote fait une différence entre ces mouvements et les autres changements (par exemple le changement de l'ignorance à la science). Mais il considère que tous les changements impliquent aussi des mouvements locaux. Il faut se rendre au cours, tourner les pages du livre, etc., pour passer de l'ignorance à la science. Enfin Aristote intègre tous les mouvements locaux partiels dans le mouvement cosmique global. Il va de soi que l'univers-bloc, gelé, que propose la physique contemporaine, interdit aussi les mouvements locaux partiels et les changements.

Le présent texte souhaite ouvrir la voie à une réintégration du mouvement sans négliger les apports de la science contemporaine, mais en les intégrant dans une science qui ne soit pas contrainte de nier les données immédiates de la sensibilité.

La sensibilité dont nous parlons ici ne doit pas être confondue avec celle de l'empirisme qui inspire le vérificationnisme étroit de Carnap, qui a d'ailleurs évolué vers plus d'ouverture. Elle s'en distingue d'abord par une capacité de sensation plus large, ce que nous appelons la sensibilité commune qui est une coopération des sens permettant des synthèses sensibles *a posteriori*. Ensuite elle implique une conception plus riche du réel que celui que le simple état de fait des empiristes. En cela que le réel dont nous parlons ne se borne ni à l'actuel, il comprend de la potentialité, ni à une mosaïque de points, il comprend des relations, ni à des corps dépourvus de permanences et de qualités, il comprend des substances actives et des qualités. Ceci suppose des engagements

3. J'appelle ainsi, avec une majuscule, la physique à dimension philosophique ou la philosophie de la nature à la manière d'Aristote.

ontologiques qui ont leur légitimité assurée par leur proximité avec le monde tel que nous l'expérimentons.

Énonçons dans l'ordre les raisons pour lesquelles le mouvement tend à disparaître.

1. La subjectivisation du mouvement par modification de la compréhension de son mode de son mode de connaissance. À une sensation du mouvement se substitue une pensée ou une conscience du mouvement.

2. La décomposition du mouvement par sa mathématisation. Celle-ci implique la discontinuité, la symétrie et l'univocité. Elle entraîne aussi, puisqu'il n'y a plus de substance, mais seulement des évènements la perte de l'objet mobile c'est-à-dire l'oubli de ce qui est mû et supporte le mouvement en ses divers moments (sauf cas des changements substantiels).

3. La négation du mouvement entraîne les immobilistes dans de nombreuses contradictions, car en niant le mouvement global ils nient aussi les changements partiels que nous expérimentons avec eux puisqu'ils envisagent que nous changions grâce à eux notre conception du mouvement.

4. La conception du mouvement qui entraîne sa négation doit donc être modifiée. Elle ne peut l'être que par un complément philosophique, non par un complément métaphysique, mais bien par un changement de conception physique qui relève de la philosophie de la nature.

Puisque la négation du mouvement repose en fin de compte sur l'univocité que les mathématiques (commutativité) et les lois (symétrie) postulent et imposent sous la forme de l'actualisme, le remède ne peut consister qu'à réinjecter en physique la distinction entre puissance et acte. Plusieurs essais ont été tentés en ce sens, mais en fin de compte seul le recours à une interprétation du cône de lumière en termes d'espace de phases s'avère apte à faire reconnaître la potentialité et donc une flèche du mouvement et ainsi à privilégier le lieu occupé par le mobile par rapport aux points déjà parcourus ou encore à parcourir.

Le refus du mouvement s'explique d'abord par la subjectivisation de son mode de connaissance (§ 2) puis par la décomposition du mouvement effectué par la mathématisation de la physique qui entraîne aussi une série d'effets secondaires comme l'uniformisation et la simplification du monde physique (§ 3). Mais la thèse de la négation du mouvement conduit ses partisans à de sévères contradictions (§ 4). Pour les surmonter, il est préférable et possible de réintégrer, grâce à la philosophie de la nature, le mouvement dans le cadre dans le cadre de la physique contemporaine (§ 5).

2. La subjectivisation de la connaissance du mouvement

2.1. Sentir le mouvement sans le sens commun ?

La question qui est posée ici est celle de savoir si nous avons un accès cognitif au mouvement. Possédons-nous une faculté capable de nous faire accéder à une connaissance d'un mouvement extérieur à nous-même et donc existant dans la nature et même la constituant très largement ? Si le mouvement existe dans le monde, comme un accident des substances, il doit être perçu. Or la dimension de la sensibilité qui permettait cette perception a été remise en cause ou oubliée à cause de l'effacement de la sensibilité commune.

Chez Aristote ou Thomas d'Aquin, le mouvement est un sensible commun. Il n'est pas senti par l'un des cinq sens de manière propre, mais il est néanmoins senti, et en tant que sensible il est reçu par la sensibilité commune. En d'autres termes, le mouvement est une certaine réalité extérieure qui active la sensibilité commune en tant que réceptive des sensibles communs, par la médiation des sens propres. Mais si la sensibilité commune disparaît, alors la sensation du mouvement devient impossible.

Il est très difficile, pour le cartésien, de comprendre la sensibilité comme une activité du composé ; aussi bien la sensation, selon lui, est-elle sentie par l'âme. Elle devient donc une idée, une pensée, provoquée, occasionnée, on se demande comment, par les composants de la matière. Locke adopte une ligne semblable : la sensation est une idée. Mais l'empirisme implique qu'elle soit causée par les mouvements des particules de matière. Le mouvement est une idée causée, non par un sens, mais par plusieurs. Le passage de la sensation commune à l'idée est bien noté et accentué par Leibniz :

> « Philalèthe : Les idées de la perception de "ce qui nous vient par plus d'un sens, sont celles de l'espace, ou extension, de la figure, du mouvement et du repos".
>
> Théophile : Ces idées, que l'on dit venir de plus d'un sens — comme celles d'espace, de figure, de mouvement — viennent plutôt du sens commun, c'est-à-dire de l'esprit lui-même ; car ce sont des idées du pur entendement, bien qu'elles soient celles qui nous relient au monde extérieur et que les sens nous font percevoir, de telle manière qu'elles admettent des définitions et des démonstrations » (Leibniz, 1921, p. 85).

Philalethe exprime la position de Locke qu'il cite, et Théophile celle de Leibniz lui-même. Le mouvement est bien connu par plus d'un sens, mais il

est une « idée » et finalement le « sens commun » n'est plus une sensation, mais une production de l'esprit, bien que ces idées relient au monde extérieur que les sens nous font percevoir : nous percevons des idées propres à un sens ou à plusieurs. Parce que ce sont des idées, les idées du « sens commun » sont susceptibles de définition et de démonstration.

La raison de cette transformation de la sensibilité commune peut être recherchée dans la fausse conclusion que l'on tire de la spécificité de la cogitative humaine par rapport à l'estimative animale. En effet, la cogitative a bien sa source dans la sensibilité commune d'un être rationnel, et elle se différencie ainsi de l'estimative, néanmoins elle n'est pas une idée, et n'en produit pas. Elle reste enracinée dans la sensibilité commune de l'homme.

Kant déplace et accentue la séparation entre le senti et la sensibilité. Il fait de l'espace abstrait et vide une forme *a priori* de la sensibilité et rejette la succession empirique des lieux dans le divers sensible. La forme de l'espace fait la synthèse entre les divers lieux occupés par les objets. L'espace est ainsi la condition de la possibilité de penser et d'apparaître des objets sensibles et de la géométrie, mais cette forme réside tout entière du côté du sujet (Kant, 1990, p. 67). La continuité est donnée par la forme de la sensibilité du sujet, mais ne réside plus dans la réalité. Le changement de lieu est rendu possible et pensable par le temps (Kant, 1990, p. 76) qui est aussi une forme *a priori* et subjective de la sensibilité. Au lieu que ce soit le mouvement d'un mobile qui engendre le temps, comme chez Aristote, chez Kant c'est le temps, en tant que forme de la sensibilité, qui engendre la possibilité du mouvement. C'est l'une des conséquences de la révolution copernicienne qui place le sujet au centre du monde. En fait, le mouvement en lui-même intéresse peu Kant, car c'est une donnée empirique[4]. Il est une banale donnée expérimentale rendue possible et pensable par les formes de la sensibilité dont il dépend et auxquelles il est plus ou moins réduit : dans l'espace il n'y a rien de mobile. Les sens externes ne nous fournissent que la connaissance de simples rapports (Kant, 1990, p. 89). Le mouvement lui-même sera donc un rapport entre une position antérieure et une position postérieure, mais ce rapport n'est lui-même pensable que par le moyen de l'espace et du temps, qui viennent du sujet. Cela permet à Kant d'éviter de choisir entre l'espace réel absolu de Newton et l'espace relatif de Leibniz.

4. « Dans l'espace considéré en soi, il n'y a rien de mobile ; par conséquent le mobile doit nécessairement être quelque chose qui n'est trouvé dans l'espace que par expérience, et donc il doit être un donné empirique » (Kant, 1968, p. 67). Ce désintérêt est très net dans la période critique, il l'est moins dans la période précritique. Il reste toujours possible de discuter sur la continuité ou la rupture entre ces deux phases de la pensée kantienne.

De la possibilité d'être pensé à la possibilité d'être, il n'y a qu'un pas, de sorte que la réalité du mouvement sera conditionnée par les formes de la sensibilité subjective que sont l'espace et le temps (Kant, 1968, p. 62). Certes, il y a bien dans le mouvement et dans le temps une certaine intuition et expérience sensibles, expérimentales, mais, précisément, ces sortes de connaissances sont purement phénoménales et non scientifiques (Kant, 1968, pp. 67-68). Elles restent de toute façon conditionnées dans leur extériorité par l'espace, et dans leur succession par le temps. Ainsi se trouve creusé un fossé entre une expérience empirique du mouvement et une science véritable de l'espace et du temps qui conditionne le mouvement empirique et les objets sensibles tout en les rejetant à la marge.

2.2. Pas d'acquaintance

En fait les empiristes et sensualistes rigoureux sont très gênés par le mouvement et le temps. L'empiriste pense que toute connaissance est causée par un effet sur les sens, par une *acquaintance*. Mais comme la sensibilité commune est oubliée, il ne demeure plus que les cinq sens, or aucun d'eux n'est par lui-même en mesure de sentir le mouvement. Comme il n'y a plus de mouvement, il n'y a plus non plus de temps. Il ne leur reste plus qu'à nier le temps ou le mouvement et/ou à le rejeter dans le flux de la conscience.

En outre, l'empiriste lorsqu'il connaît par *acquaintance* ne connaît que le reflet lumineux de l'objet au moment où celui-ci se produit. Il voit par exemple un cube blanc qu'il appelle à la suite de l'apprentissage linguistique « morceau de sucre ». Il peut en décrire la couleur, la forme. Jusque-là tout va bien, mais il est beaucoup plus gêné pour dire que le cube blanc est aussi soluble. Comment la solubilité pourrait-elle frapper ses sens, puisqu'elle signifie une propriété qui ne sera — à peu près — visible (et encore !) que si le sucre est plongé dans l'eau. Tant qu'il n'est pas en contact avec l'eau, attribuer la solubilité au sucre revient, pour l'empiriste, à attribuer témérairement au sucre une propriété future. Donc il faut réduire la solubilité aux cristaux qui constituent le morceau, si tant est que l'on puisse de nouveau y apercevoir au présent la solubilité. L'*acquaintance* n'autorise une connaissance de l'objet et des propriétés que dans la mesure où elles sont en acte, en train de frapper actuellement les sens. Elle ne permet pas d'accéder aux propriétés réelles, mais en puissance.

Il apparaît clairement maintenant combien la question du mouvement est étroitement liée à celle de l'acte et de la puissance au niveau physique. Le mouvement nécessite une possibilité de mouvement et une actualisation de cette

possibilité. Toute négation de la distinction entre potentialité et acte entraîne immédiatement aussi celle du mouvement.

3. Décomposition et effacement du mouvement

3.1. La discontinuité

La difficulté à faire place au mouvement est très ancienne. Elle est très nette chez Parménide et chez Zénon l'éléate. Chez Zénon en particulier, elle revêt la forme d'une destruction par promotion de la discontinuité. La connaissance du mouvement en lui-même est délicate, car il ne peut être saisi que par la manifestation actuelle de la mobilité. La mobilité en tant qu'elle reste potentielle n'est pas directement connaissable. Il est alors facile de confondre la connaissance du mouvement avec celle des éléments qui le constituent, c'est-à-dire avec les étapes du mouvement. Cette illusion est à la base de l'erreur de Zénon. Galilée la reproduit. Le mouvement ne serait donc compréhensible que par décomposition. Mais la décomposition tue le mouvement.

L'expérience cinématographique est à cet égard très intéressante. Le moteur de la caméra, celui du projecteur et de la bobine sont des mouvements réels et non décomposés. En revanche, le mouvement dont l'illusion est recréée par le déroulement de la bobine n'est possible que parce que la caméra a décomposé un mouvement qui au départ est réel. Au moment de la prise de vue, non seulement la caméra tourne vraiment, mais les mouvements qui font l'objet de la prise de vue sont réels. Les acteurs se déplacent réellement. Au contraire, la projection du film ne fait pas se déplacer les acteurs de la manière dont leurs images sur l'écran en donnent l'illusion, en en faisant se succéder rapidement les étapes[5]. C'est l'accélération imprimée aux images fixes provenant de la décomposition du mouvement des acteurs ou des objets qui est le procédé mis en œuvre par le cinéma. Cependant, le procédé cinématographique ne recrée l'image du mouvement que parce que réellement le moteur de la caméra, celui du projecteur et de la bobine sont des mouvements réels et non décomposés. Invoquer ici la persistance des images rétiniennes est insuffisant, car cela n'explique pas comment est opérée la synthèse entre les différentes images. Cette tâche revient en fait à la sensibilité commune.

5. Les travaux de Muybridge (1882, 1888) et de Marey (1873, 1894) sur les allures du cheval utilisent la décomposition du mouvement par la chronophotographie.

Pourtant, la discontinuité du mouvement va s'introduire par le biais de la question du contact permanent entre le moteur et le mû. Le point capital n'est peut-être pas tant la théorie de l'*impetus* que l'idée selon laquelle il n'y a pas de véritable transmission entre le moteur et le mû. Les nominalistes vont s'évertuer à réduire la continuité entre moteur et mû en réduisant la réalité de l'influx causal du moteur sur le mû. Avec Nicolas d'Autrecourt, entre autres, le mouvement n'est plus une réalité distincte de celle de la chose mobile (Dutton-Blake, 1996). De cette position peuvent découler deux conséquences : ou bien le mouvement n'est rien, ou bien, et c'est la thèse de Nicolas selon qui les atomes sont intrinsèquement mobiles, le mouvement est essentiel au mobile. On peut retrouver ces deux positions dans la physique relativiste : ou bien la chose se confond avec son évolution spatio-temporelle, son tube d'univers, ou bien le mouvement disparaît dans l'espace global immobile.

3.2. Mathématisation de la physique et commutativité

La mathématisation de la physique est certainement un autre facteur important de l'effacement du mouvement. La discontinuité de l'arithmétique suggère fortement la discontinuité du mouvement. Sans doute la géométrie rétablit-elle dans une certaine mesure le continu. Mais il n'en reste pas moins que chaque figure est discontinue par rapport à ses voisines. Une des tendances des mathématiques a d'ailleurs été de soumettre la géométrie à l'arithmétique, plutôt que l'inverse.

En outre tous les objets mathématiques, arithmétiques ou physiques, sont incapables de se mouvoir. Ils sont au contraire mus de l'extérieur par le mathématicien. En effet ils ne contiennent pas de véritable potentialité physique, mais seulement une potentialité conceptuelle. En application de ces caractéristiques, la physique en arrive à dénier complètement le mouvement, comme l'explique très clairement Weyl, en écrivant :

> « Le monde objectif est simplement, il n'arrive pas. C'est seulement le regard de ma conscience, remontant en rampant le long de la ligne de vie de mon corps qui confère à une section de ce monde de venir à la vie comme une image qui flotte dans l'espace et qui change continuellement dans le temps »[6].

6. « The objective world simply is, it does not happen. Only the gaze of my consciousness, crawling upward along the life ligne of my body, does a section of this world come to life as a fleeting image in space which continuously changes in time » (Weyl, 1949, p. 116).

La mathématisation de la physique s'exprime enfin par des lois, c'est-à-dire par des équations, or les équations sont des égalités, donc les deux côtés de l'égalité s'équivalent. Autrement dit, les lois sont symétriques et aucun des deux côtés n'est privilégié. Ceci implique que les lois soient universelles. Il en résulte que l'univers ne peut être conçu que comme un ensemble indifférencié d'états égaux et interchangeables. D'où la conception d'un univers isotropique, au moins comme hypothèse de départ, car la réapparition des singularités ne cesse de poser un grave problème à cette conception. De fait, les mathématiques sont aussi commutatives. Autrement dit l'égalité peut être renversée, AB = BA. Ce n'est que très récemment, et sous la contrainte de la mécanique quantique, que certains esprits ont cherché à s'affranchir de la commutativité, en développant un programme de géométrie non commutative. Comme le déclare souvent son principal promoteur français : ce n'est pas la même chose de dire : « j'ouvre une bouteille de bière et je la bois » et « je bois une bouteille de bière puis je l'ouvre ». En termes plus classiques, aller d'Athènes au Pirée n'est pas identique à aller du Pirée à Athènes : le trajet est différent, même si la voie est identique.

4. L'unification univoque

La symétrie et l'universalité des lois ont également pour effet d'unifier. Cette unification est poussée à l'extrême et se trouve à la base d'une conception de la science qui se refuse à considérer les divers niveaux de réalité. Elle atteint son degré suprême autour de quelques lois ou théories. La relativité, dans son principe de négation ou de réduction des particularités locales, est une expression éminente de la recherche de l'unité universelle puisque son résultat aboutit à la fameuse équation d'équivalence entre masse et énergie. Cette équivalence montre par elle-même que l'univers se trouve réduit à un seul principe. Or la réduction à un seul principe entraîne de fait la négation de tout mouvement. Le mouvement demande de l'altérité, comme Aristote le fait bien ressortir contre Parménide (Aristote, *Physique* I, § 5, 188a 19-188 b 26) : le mouvement se fait d'un contraire à un autre, donc la pluralité des contraires est nécessaire.

L'effacement du mouvement n'est pas seulement dû à la mathématisation, il s'enracine dès Galilée dans le projet de la nouvelle physique qui cherche des lois universelles détachées de toutes conditions locales. C'est Galilée qui commence à mettre en avant l'idée de relativité (Tonnelat, 1971). Pour Galilée, les lois de la physique sont universelles, donc elles doivent s'appliquer sans tenir compte des modifications locales. Ainsi la chute d'un corps obéit-elle à

la même loi, que la chute ait lieu du haut du mat dans la cabine d'un navire en mouvement ou à terre. La loi est la même par un processus d'abstraction et d'universalisation qui consiste à éliminer les données liées aux conditions locales. Galilée découvre ainsi l'idée que l'on peut passer de l'analyse d'un mouvement à un autre et conserver la même loi. En étendant et en généralisant progressivement cette idée, Einstein en viendra à la relativité générale. On peut passer de n'importe quel point de l'espace en mouvement à un autre point en mouvement grâce aux transformations de Lorentz. On conserve la proportion entre les intervalles, mais toute perturbation locale est éliminée. Ceci permet donc d'aboutir à un point de vue complètement universel, tout en reconnaissant la perspective propre de chaque point doté de son propre cône d'espace-temps. L'univers entier apparaît alors en un seul tout présent et évidemment sans mouvement. C'est pourquoi certains résument la démarche en utilisant la notion d'univers-bloc. Selon cette image, l'univers peut être décrit par exemple comme un cake entier. Chaque tranche fine du cake est à soi seule un lieu et un temps présent. En effet, comme le souligne Mc Taggart — à propos du temps, mais la transposition est aisée —, lorsque l'on est au point A, on n'est pas au point B, ni au point C. Lorsque l'on est en B, le point local A a disparu et le point C n'est pas encore. L'univers est constitué par l'ensemble des points. Ainsi, en chaque étape du trajet du mobile mû, on considérera que le mobile se trouve en un point local. Le mouvement antérieur étant achevé n'est plus et le mouvement qui ne s'est pas encore produit n'est pas. Le mobile est donc successivement toujours immobile là où il se trouve. Ainsi, le mouvement sera fait d'une suite d'immobilités. Il est possible aussi de considérer que tous les points d'une tranche d'espace se trouvent en même temps en un même lieu.

À vrai dire la conception du temps développée par Mc Taggart est quelque peu circulaire. Il commence par construire la série du temps en dépouillant chaque point de son passé et de son futur. Autrement dit, lorsque nous sommes au point B, au présent, nous pouvons aussi dire que le trajet (ou le délai) A-B s'y achève et que le trajet (ou le délai) B-C y commence. Au lieu et au présent B se trouvent aussi la limite du passé et le début du futur. En fait Mc Taggart néglige la valeur du présent comme fin du passé et début du futur. Il néglige corrélativement l'ordre antéro-postérieur qui fait que A précède B et que C suit B[7].

7. Mc Taggart, 1927. Pour une réponse développée à Mc Taggart ,cf. Roark, 2011.

5. Simplification de la physique par les mathématiques

L'alliance des mathématiques et de la physique apparaît assez contestable. Si la physique se trouve être une science du mouvement et que les mathématiques ne peuvent rendre compte du mouvement sans le détruire, il faut s'interroger sur ce qui manque aux mathématiques. Peut-être, à vrai dire, le problème ne vient-il pas des mathématiques elles-mêmes, mais plutôt soit de leur application à un monde qui leur est au moins partiellement rebelle, soit d'une erreur sur la portée des mathématiques auxquelles on demanderait une connaissance qui est au-delà de leurs capacités. En effet, la thèse de l'univers sans mouvement ni temps n'est certainement pas issue des mathématiques, mais plutôt d'une prise de position philosophique.

Ce qui caractérise les entités mathématiques est leur séparation d'avec les réalités sensibles et la subsistance de ces êtres séparés dans et par la pensée. Il n'est donc pas étonnant que l'on éprouve quelques difficultés à les réintégrer dans le sensible, même si les réalités mathématiques conservent un certain lien avec certains des aspects des êtres sensibles, leurs dimensions entre autres.

Comme l'a fait remarquer le philosophe Max Black : ou bien nous utilisons la science comme nous permettant de projeter sur la réalité une mauvaise métaphysique éléatique qui heurte notre expérience quotidienne nécessaire à l'avènement de la science, ou bien nous tenons compte de la différence entre notre représentation scientifique et la réalité qu'elle représente incomplètement[8]. Ainsi, la science physique ne peut, à cause de sa méthode, décréter par elle-même l'inexistence du mouvement. Elle livre une vue restreinte de la réalité, utile pour elle ; mais l'illusion consiste à penser que la réalité correspond à cette vision restreinte. La thèse de l'irréalité du mouvement est ainsi le résultat d'un biais dû aux méthodes de la physique, mais ne reflète pas la réalité elle-même qui est étudiée au moyen de ces méthodes. En outre Black, met le doigt sur le fait que la physique doit être complétée pour déclarer ou non l'existence réelle du mouvement, car elle ne peut par elle-même dire si oui ou non le mouvement

8. « Mais cette image d'un "univers-bloc" composé de lignes de monde dans un espace quadri-dimensionnel, suggéré par la théorie de la relativité, n'est que de la métaphysique gratuite. Puisque le concept de changement, de quelque chose qui arrive, est une composante d'une conception de sens commun du temps et une conception nécessaire d'une vision scientifique de la réalité, il est tout à fait hors de question que la physique théorique exige de tenir la vue des Éléates selon qui rien n'arrive dans le monde objectif. Ici comme souvent en philosophie de la science, une utile limitation dans la représentation est erronée lorsqu'elle vaut pour une déficience dans l'univers » (Black, 1962, cité par Feser, 2019, p. 41).

est réel. Ce complément nécessaire est philosophique[9], « métaphysique » (= non empirique), en fait il relève de la philosophie de la nature au sens de la Physique d'Aristote.

Les biais qui proviennent de la physique mathématisée sont facilement compréhensibles à travers l'usage du dessin et des statistiques. La physique mathématisée est, comme le dessin, une représentation de la réalité. Comme un dessin, elle supprime certains aspects de la réalité, la couleur par exemple, et la simplifie. Elle peut également comme le dessin ajouter à la réalité, des traits noirs par exemple pour le dessin, qui ne sont pas nécessairement de véritables composants de la réalité. Ce dernier aspect explique par exemple que d'Espagnat (1994)ne cesse de s'interroger sur ce qui est réel dans les particules subatomiques. Le dessin, quelle que soit sa qualité, représente la réalité, mais n'*est* pas la réalité ; c'est d'ailleurs ce que l'on souligne lorsque l'on recourt à des modèles mathématiques : ce sont des analogies simplifiées du réel et non le réel lui-même[10].

On peut faire la même remarque avec les statistiques. Le français moyen ou le consommateur moyen sont des abstractions qui ne disent rien du comportement réel de tel ou tel individu concret, même si les comportements moyens sont, à l'origine, basés sur la description d'un certain nombre de comportements individuels. Là aussi, la mathématisation simplifie et sépare du concret, représente, mais n'équivaut pas aux comportements réels. La procédure de simplification pour représenter n'est pas utilisée simplement par rapport au monde quotidien. Elle est aussi utilisée par la science elle-même en passant d'un domaine à un autre. Ainsi, la mécanique des fluides et des gaz les traite comme des continus alors que la chimie et la physique y voient des molécules et des atomes. Cette simplification utile à la science ne peut en aucun cas être prise pour la réalité elle-même que la science décrit partiellement en la simplifiant outrancièrement[11]. Accepter la confusion entre les deux serait comme

9. C'est également ce qu'expriment Eddington et Whittaker en soutenant que les propositions quantitatives dépendent des propositions qualitatives, cf. Mc Connell (1958).
10. Aristote notait déjà, à propos de la représentation géométrique du mouvement animal, que « si l'on dit qu'il y a mouvement, c'est une simple fiction, puisque, dans les mathématiques, aucun des êtres qu'elles considèrent ne se meut. » :« καὶ γὰρ τὸ κινεῖσθαι, ὡς φασί, πλάττουσιν ἐπ᾽ αὐτῶν· οὐ γὰρ κινεῖσθαι τῶν μαθηματικῶν οὐδέν » (Aristote, 1983, p. **** [698a 26-27]).
11. « La mécanique des milieux continus traite la matière comme si elle était entièrement lisse et continue à travers une région plutôt qu'atomique. L'aérodynamique traite le flux d'air sur une aile de la même manière, et ce sont de parfaitement bonnes idéalisations pour l'échelle à laquelle on traite habituellement les matériaux, spécialement les fluides et

penser que le terme « mouvement » est un mouvement. Barbour, par exemple, n'hésite pas à effectuer ouvertement une confusion de ce genre. Selon lui, le fait qu'il est possible d'écrire l'équation de Schrödinger sans y faire figurer le facteur *t* (temps) suffit à montrer que le temps et le mouvement sont inexistants au niveau quantique et au-delà (Barbour, 1999).

Un objectant pourrait expliquer que la physique certes ne saisit pas toute la réalité, mais elle saisirait toute la réalité physique. Cette objection est pourtant inadéquate, car elle passe à côté du problème. Elle ne voit pas que c'est justement le fait de savoir si la physique mathématique décrit toute la réalité physique qui est en cause. La philosophie physique de tradition aristotélicienne pense justement que la physique mathématique ne pêche pas seulement en négligeant une partie de la réalité, elle pèche en négligeant une partie de la réalité physique elle-même (Feser, 2019, p. 43).

John Bigelow a souligné le fait que, même antérieurement à la relativité, l'usage des mathématiques et de la logique en physique tendait à donner l'image d'un monde dépourvu de mouvement et de temps. Il remarque que, selon Newton, l'analyse du mouvement s'opère en représentant la vitesse d'un mobile comme la pente d'une courbe sur un graphique qui mesure le temps sur un axe et l'espace sur un autre. Ainsi, différents temps et différents mouvements sont représentés de la même manière, à savoir des points sur le graphe, comme s'ils existaient tous ensemble. On utilise ensuite le calcul pour caractériser la vitesse en termes de limites de séquences infinies. Afin de formuler des énoncés sur séquences de ce genre, la logique moderne des prédicats quantifie des corps et des événements passés et futurs non moins que présents. Ainsi est-il suggéré, du fait de cette indifférenciation, que mouvement et temps sont abolis (Bigelow, 2013, cité et résumé dans Feser, 2019, p. 43).

Un physicien et cosmologiste contemporain réputé a également insisté sur le fait que l'effacement du mouvement et du temps était un sous-produit de la façon dont la physique mathématisée représente la réalité : « le procédé par lequel on enregistre un mouvement, qui prend place en un temps, a pour résultat un enregistrement figé dans le temps — un enregistrement qui est lui-même représenté par un graphe également figé dans le temps » (Smolin, 2013, p. 34).

En faisant remarquer que le concept d'espace-temps à quatre dimensions est aussi le résultat d'une application radicale de cette manière de représenter la

les gaz. Les théoriciens de l'espace-temps font de même en ignorant la structure méso-dimensionnelle de l'univers » (Kopersky, 2015, p. 136).

nature, Smolin met en garde contre le fait de tirer trop rapidement des conclusions philosophiques du succès de la méthode, et poursuit :

> « Quelques philosophes et physiciens voient dans cette méthode une profonde intuition sur la nature de la réalité. D'autres argumentent en sens contraire que les mathématiques sont seulement un instrument, dont l'utilité ne requiert pas de nous de voir le monde comme étant essentiellement mathématique [...]. Ils insisteront sur le fait que la représentation mathématique d'un mouvement comme une courbe n'implique en aucune façon que le mouvement soit identique à sa représentation. Le fait certain que le mouvement prend place en un temps alors que sa représentation mathématique est intemporelle signifie qu'ils ne sont pas la même chose [...]. En succombant à la tentation de confondre la représentation avec la réalité et d'identifier le graphe des enregistrements du mouvement avec le mouvement lui-même, certains scientifiques ont franchi un grand pas vers l'expulsion du temps de notre conception de la nature. La confusion empire lorsque nous représentons le temps comme un axe sur un graphe [...], cela peut être nommé spatialiser le temps. Et la conjonction mathématique des représentations de l'espace et du temps, avec chaque chose possédant son propre axe, peut-être appelée espace-temps [...] si nous confondons l'espace-temps avec la réalité, nous commettons une erreur qui peut être appelée l'erreur de la spatialisation du temps. C'est une conséquence de l'oubli de la distinction entre le fait d'enregistrer le mouvement dans le temps et le temps lui-même » (Smolin, 2013, pp. 34-35).

Nonobstant l'appellation qu'il lui donne, ce que dénonce Smolin ici n'est pas tant la spatialisation du temps, qui peut finalement avoir ou non un sens, mais qui est un problème différent, que la fausse inférence impliquée par la supposition que l'utilité de la représentation mathématique simplificatrice justifie à elle seule une telle réduction philosophique.

Bourne renchérit sur ce thème :

> « De ce que quelque chose est simplement représenté spatialement, nous ne pouvons tirer la conclusion qu'elle est une dimension spatiale ou qu'elle est de toute manière analogue à une dimension spatiale. Car considérons [...] un espace coloré qui illustre les possibles manières dont les choses peuvent être colorées, ce serait une faute conceptuelle d'en tirer la conclusion que la brillance, la teinte, et la saturation seraient chacune des dimensions spatiales. Et continuer à en inférer que chacune de ces dimensions devrait être semblable uniquement parce qu'elles comprennent les différentes dimensions

> d'un espace des couleurs serait également erroné, puisqu'elles ne le sont pas. Nous devons, alors, être également méfiants quand il s'agit de tirer des conclusions des diagrammes d'espace-temps de Minkowski » (Bourne, 2006, p. 158.).

Plusieurs autres auteurs ont, depuis assez longtemps, mis en garde contre ces erreurs qui consistent, selon Whitehead (1967, p. 51 et p. 58.), en « la faute de la concrétude mal placée », c'est-à-dire précisément à prendre la représentation pour le concret. Husserl, à l'origine mathématicien, insiste sur le fait que la mathématisation de la nature a pour résultat une idéalisation qui ne saisit pas la réalité complète (Husserl, 1976). Bergson, dans sa discussion avec Einstein, se plaint de ce que la conception mathématisée de la nature nous conduit à en avoir une conception faussée et à penser le temps comme une série de moments figés, comme les images immobiles à la base d'un film (Bergson, 1907). En philosophie analytique nous avons noté la critique de Max Black. Certains aristotéliciens et thomistes ont repris à leur compte l'objection de la « faute de la concrétude » (Van Melsen, 1954, pp. 83-84 ; Weisheipl, 1955).

Pour accepter l'idée que l'on puisse déduire de la représentation fournie par les mathématiques que le mouvement est illusoire parce que cette représentation épuise la réalité, il faudrait produire une solide argumentation métaphysique. Mais il faudrait aussi qu'il n'y ait pas non plus d'arguments plus solides en sens contraire. Étudions cela en détail. On peut tirer d'Einstein un argument selon lequel le mouvement et le temps doivent être tenus pour illusoires s'ils n'apparaissent pas dans la théorie physique. Mais cet argument est essentiellement de type vérificationniste. Or malheureusement les arguments vérificationnistes sont aujourd'hui considérés comme auto-contradictoires, car toute la pratique scientifique fait appel à des entités non directement vérifiées. On peut chercher à renforcer l'argument vérificationniste en invoquant le fait que, si l'on peut bien accepter en principe des réalités non empiriquement vérifiables, en pratique on peut se passer de réalités de ce genre. Mais la réponse est aisée : non seulement on peut invoquer une sorte d'expérience empirique du mouvement à travers la sensibilité commune, même si celle-ci comporte une part de jugement, mais surtout nous avons une raison déterminante pour accepter la réalité du mouvement et du changement et nous la connaissons déjà : toute la pratique de la physique nécessite de faire appel à cette réalité du changement pour établir la représentation mathématique que le physicien propose. Il est donc obligé d'admettre que la représentation en question est incomplète par rapport à l'expérience primitive qui lui permet de l'établir.

L'évolution de Russell est à cet égard pleine d'enseignement. Il en est venu, surtout dans ses travaux tardifs à reconnaître de plus en plus que la physique mathématisée ne nous donne qu'une connaissance de la structure de la réalité plutôt qu'une connaissance de la nature intrinsèque de la réalité qui possède cette structure. C'est justement le développement de sa connaissance de la physique relativiste qui a entraîné chez lui cette évolution (Russell, 2009). Pourtant, il doit y avoir une nature intrinsèque de la réalité physique, car c'est elle qui permet à la structure d'exister. Mais sur cette réalité « Physics is silent » (Russell, 1927, *passim*, spécialement chap. XXIV). Si la physique mathématique ne peut nous donner accès à cette réalité, c'est donc qu'elle ne nous donne pas accès à toute la réalité.

Russell a également changé sur un autre point. Alors qu'au début de sa carrière il s'interrogeait sur la réalité de la causalité, car les équations n'y font pas référence, il a dû admettre que la causalité est épistémologiquement absolument nécessaire pour le développement de la physique. Il a ainsi été contraint de développer une théorie causaliste de la connaissance sensible et de souligner son importance pour la physique (Russell, 2003). Cela conduit à reconnaître, une nouvelle fois, que puisque la physique mathématique ne contient pas ces relations causales que nous sommes forcés de reconnaître, les équations dont la causalité est absente ne représentent pas toute la réalité et laissent de côté une part essentielle de celle-ci.

Admettre la causalité pour expliquer la perception ouvre une brèche importante dans la conception mathématique de la physique et le refus du mouvement qui en est la conséquence. Si l'on admet que les objets meuvent les sens, il est difficile de penser qu'ils les meuvent autrement qu'en les faisant passer de la puissance à l'acte. Si les sens sont informés par les objets, la sensibilité en son entier est informée par le comportement des objets, c'est-à-dire en l'occurrence par le mouvement des objets mobiles en acte. La sensibilité commune perçoit l'activité du mobile par rapport à des points de repère immobiles. Le mouvement est donc bien une réalité du monde sensible, sans être lui-même une substance.

6. Relativisation et disparition du mobile

La physique aristotélicienne distingue le mouvement et le mobile. Le mobile est une substance qui est sujet du mouvement. La physique relativiste d'une part ne distingue pas le mouvement du temps ni de la substance. Ses points

sont des événements spatio-temporels. La physique relativiste en revanche fait apparaître une structure mathématique. Face à cela, il existe deux possibilités. Ou bien l'on considère que la physique mathématisée ne fait connaître qu'une certaine dimension de la réalité, qui est plus riche que sa description mathématique. On adopte alors une version épistémique du réalisme structural. Ou bien l'on estime que la structure mathématique produite par la physique relativiste décrit réellement et complètement la réalité et l'on adopte ainsi un réalisme structural ontologique.

Il a été déjà clairement indiqué les raisons pour lesquels la physique mathématisée est incomplète, préparant ainsi l'adoption d'un réalisme structural épistémique. Cependant les partisans d'un réalisme structural ontique présentent des arguments qui méritent discussion. L'objection que l'on adresse au réalisme structural ontique est qu'il aboutit à poser des relations sans *relata*. Si les points de l'espace-temps en effet sont seulement des événements et que ces événements indiquent quand et où un événement se produit par rapport à d'autres, alors ne subsistent plus que des événements relatifs les uns aux autres. Soit les substances deviennent des points, soit des séries de points ou « tubes d'espace-temps ». La structure mathématique constituée de relations aura ainsi absorbé toute la réalité. On se trouvera donc devant un ensemble de relations sans *relata* qui semble assez difficilement compréhensible.

Cependant, selon Chakravartty, cette objection, passe à côté de la question (Chakravartty, 2007, p. 77). Selon cet auteur, le problème n'est pas de poser des relations sans *relata*, mais de réviser notre notion de relation afin de pouvoir obtenir des relations sans *relata*. L'objection de Chakravartty n'est pas très efficace. Ce n'est pas parce que l'on suggère qu'il pourrait y avoir des relations sans *relata* qu'il existe de telles relations. Celui qui suggère l'existence de telles relations ne peut se contenter de les suggérer, il doit encore en démontrer la possibilité. C'est sur lui que repose la charge de cette preuve qui va à l'encontre de tout ce qui est couramment admis. Or la démonstration de l'existence ou même de la possibilité de telles relations n'a pas été montrée. La suggestion de Chakravartty reste donc un programme non accompli, et qui sans doute ne risque pas de l'être.

Ladyman s'est attelé à la mise en œuvre du programme de Chakravartty (Ladyman, s.d.). Il tente de montrer qu'il existe une première manière de concevoir des relations sans *relata*. Prenons un universel comme la relation « être plus grand que ». Nous pouvons comprendre la signification de cet universel même en l'absence de toute substance-sujet qui serait « plus grande que… ». En termes plus techniques, on dira que l'universel relatif peut-être compris sans

aucun autre argument, ou encore que R, n'est pas ...R.... Il existe des universaux que nous pouvons parfaitement comprendre sans qu'existe aucune substance pour les porter. Ainsi, nous comprenons parfaitement « Licorne » ou « Bouc-Cerf » sans aucun sujet existant qui corresponde à ces noms.

On peut répondre à Ladyman que nous n'avons pas à faire en physique à des universaux, mais à des êtres concrets. Ce qui intéresse la physique, ce sont justement les objets qui exemplifient les universaux et non les universaux eux-mêmes. Même en concevant le monde comme un seul objet quadridimensionnel, nous pouvons encore distinguer entre le monde lui-même comme une exemplification concrète particulière et l'universel « monde » qu'il exemplifie. Un tel universel est abstrait et non concret, à la différence de l'exemplaire concret de « monde » ; il est causalement impuissant, et, en principe, peut recevoir une multitude d'exemplifications : m1, m2, mn.... Il n'y a donc finalement, sur la base de l'argument de Ladyman, aucune raison ni besoin de poser des relations sans *relata*. En fait, l'idée même de relations sans *relata* aboutit à dissoudre le caractère de science empirique de la physique en suggérant que le monde est un étagement de relations et même une sorte d'universel platonicien unique. Mais la physique commence par les corps et ne peut être réduite aux mathématiques.

Un second argument en faveur des relations sans *relata* a été avancé par Ladyman. Selon lui, il est possible de penser les *relata* eux-mêmes comme analysables en mode de relations et ces relations elles-mêmes en d'autres relations. Mais ceci résout-il vraiment le problème ? Soit les relations requièrent des *relata* soit elles n'en exigent pas. Si elles n'en exigent pas, pourquoi poser une régression infinie de relations servant de *relata* aux relations inférieures ? N'est-il pas suffisant de remonter à une relation de niveau supérieur et s'en contenter ? Si, inversement, les relations requièrent des *relata*, en quoi un *regressus ad infinitum* est-il suffisant pour identifier ces *relata* ? En quoi un *regressus ad infinitum* serait-il moins problématique que des relations sans *relata* ? Ces questions mettent sérieusement en danger l'idée de relations sans *relata* et permettent de rejeter le réalisme structural ontique. Décidément, la présentation mathématique du monde sensible et mobile est incomplète.

7. Les dilemmes de l'immobilisme

Non seulement l'image mathématique du monde est incomplète, mais la conception d'un monde sans mouvement n'est pas aussi facile qu'il semble à

soutenir sans tomber dans des contradictions. Elle conduit en effet à des difficultés dialectiques que doit assumer le partisan de l'univers bloc.

La négation de la potentialité n'a pas que des effets limités au mouvement strictement local. Elle couvre aussi les divers changements. En effet, pour qu'un changement ait lieu, encore faut-il qu'il soit possible, c'est-à-dire une potentialité. Sans cela, la possibilité sera rejetée dans un autre monde. C'est en effet ce qui se passe dans une école de philosophie qui, à la suite de Lewis (2001)[12], souhaite conserver des possibilités de changement, pour assurer la contingence des événements, mais qui ne peut les admettre dans le monde actuel. Les possibilités constituent ainsi d'autres mondes, en principes en nombre infini pour correspondre à l'infini des possibles, mais ces autres mondes doivent néanmoins être réels. Ainsi ces mondes possibles se voient dotés à la fois de réalité et de simple possibilité. De ce point de vue, ils témoignent de la nécessité de tenir finalement deux principes : les mondes actuels et les mondes possibles. Mais d'un autre point de vue, les mondes possibles sont à la fois réels et possibles. Cette réalité ou bien doit être conçue comme une actualité et alors ces mondes seront à la fois actuels et possibles sous les mêmes aspects : cela conduit à une grave contradiction. Ou bien la possibilité des mondes possibles est une simple possibilité logique, de sorte que la potentialité physique se trouve réduite à la possibilité logique. Certes la possibilité logique est plus ample que la potentialité physique. La première n'exige que la cohérence, la non-contradiction. La seconde exige au moins une réalisation physique, passée, présente ou future. Autrement dit la potentialité physique existe dans des êtres concrets et tangibles, alors que la potentialité logique, quelle que soit la solidité des structures logiques, n'a lieu que dans la pensée.

Cette dichotomie qui repousse la potentialité hors du monde physique pour la réserver à des constructions logiquement possibles présente le grave défaut de devoir multiplier les êtres, en l'occurrence les mondes possibles et leurs habitants. Il est beaucoup plus économique de situer d'abord la potentialité dans notre monde. Il est d'ailleurs aussi possible de développer les modalités logiques à partir des modalités physiques comme le met bien en lumière Barbara Vetter (2015). La suggestion de Vetter permet de surmonter la séparation entre des possibilités pensées et un monde purement actuel. Il n'y a donc plus à choisir entre les deux. Il devient ainsi aussi possible d'articuler sans réduction la logique catégorique et la logique modale.

12. Le fait pour Lewis de considérer les mondes possibles comme indexicaux (contextualisés) ne semble pas de nature à lever l'équivoque d'une possibilité logique conjointe à une affirmation d'actualité. Cf. Lycan, 1979, et Pruss, 2011, pp. 82-88.

À défaut d'accepter la présence réelle de la potentialité, le partisan de l'univers bloc et de l'immobilisme est condamné à l'actualisme (tout est acte). Mais il devient alors très difficile pour lui de rendre compte de plusieurs expériences simples dont il ne peut guère se priver. Les partisans de l'univers bloc sont, pour la plupart d'entre eux, des enseignants. Ils ne le furent pas toujours, il a fallu que, de jeunes étudiants ou élèves assez ignorants, ils deviennent des savants aptes à expliquer aux autres que le monde ne connaît aucun changement. Ils ont pourtant eux-mêmes bien dû changer pour passer de l'ignorance à la science. Il en va de même dans le travail de chercheur, il y a bien une différence entre la possibilité de trouver lorsque l'on formule une hypothèse et qu'on se met au travail d'une part et la découverte d'autre part. On ne se mettrait pas à chercher si l'on ne pensait pas possible d'effectuer ce changement, autrement dit de passer de la possibilité de la découverte à la découverte.

En leur qualité d'enseignants, les immobilistes ont dû passer eux-mêmes de l'ignorance à la science, donc actualiser leur réelle potentialité intellectuelle, mais aussi également admettre que leurs étudiants pouvaient changer, d'ignorants qu'ils étaient au début, en un peu plus savants à la fin. L'enseignement serait impossible sans la reconnaissance d'une potentialité de science chez les étudiants. Cette potentialité est d'ailleurs reconnue par les examens qui permettent l'accès à un niveau supérieur. Lors de l'examen, on cherche à connaître la science actuelle de l'étudiant, mais cette science elle-même constitue la base de la potentialité d'accéder à une science plus vaste ou plus pénétrante.

Les tenants de l'univers bloc sont confrontés à une grande difficulté. L'expérience quotidienne et le sens commun nous disent que les changements et les mouvements sont réels. Nous pensons nous déplacer réellement d'un lieu à un autre, par exemple pour aller de notre domicile à notre université. Nous voyons autour de nous des gens qui se déplacent.

De nombreuses théories scientifiques semblent impliquer mouvements et changements : l'évolution est typiquement une théorie des changements chez le vivant ; la cosmologie reçue aboutit à un univers en expansion dont la vitesse d'expansion est mesurable ; la physique quantique, dans ses meilleures explications, implique un radical changement et mouvement qui a d'ailleurs pu être expliqué en termes d'actualisation de potentialité[13]. L'embryologie est tout entière l'étude d'un changement et d'un mouvement.

Or le partisan de l'univers bloc déclare que ces déplacements et changements sont illusoires et se résolvent dans un objet éternel et immobile. Il exige

13. Heisenberg, 1962, pp. 54-55 et p. 185 ; cf. le commentaire de Shimony (1981).

donc de ses lecteurs et auditeurs un radical changement d'opinion, qu'il a dû lui-même déjà effectuer pour son propre compte. De deux choses l'une : ou bien le changement et le mouvement sont réels et possibles, alors la thèse de l'univers bloc s'effondre, ou bien nous sommes incapables de changer, nous ne possédons pas la potentialité requise pour cela, alors nous ne pouvons pas passer de l'illusion à la vérité scientifique qui nous demeure inaccessible. Pourtant, le partisan de l'univers bloc a bien dû lui aussi reconnaître la possibilité du changement d'une opinion à une autre, d'une ignorance à une science et il pense que ce changement nous est aussi accessible puisqu'il nous l'enseigne. Il ne peut à la fois dénier le changement et nous sommer de changer, nier le changement et avoir lui-même changé.

Le dilemme revêt une portée encore plus vaste, car l'univers bloc et la physique en général commencent par reconnaître la réalité du mouvement. Dans les exposés d'Einstein par exemple, on admet bien que le rayon lumineux voyage, que le train roule réellement à une vitesse, que le lieu d'où on observe est différent selon que l'observateur est sur le quai ou dans le train, etc. Ce n'est qu'en second lieu que l'on émet l'idée que ces données premières sont illusoires. Néanmoins les données premières, et parmi elles le mouvement, sont indispensables pour élaborer la théorie. Donc de nouveau ou bien le mouvement existe réellement et son explication ne peut être sa négation, ou il n'existe pas et il est inutile de chercher à l'expliquer. L'immobiliste est donc obligé de dire ou bien que le mouvement existe et n'existe pas, ou bien de dire qu'après avoir existé il n'existe pas, ce qui est tout de même imposer à l'intellect un rude changement.

On a pu proposer de sortir de ce dilemme en tentant de montrer qu'un univers-bloc serait compatible avec un mouvement et un temps réels (Feser, 2019, p. 38). Selon Shoemaker (1969), il serait possible de concevoir un monde composé de trois régions différentes, A, B, C. Les habitants de ces régions observeraient que de temps à autre les habitants des autres régions entrent en phase d'hibernation où il n'y a aucun mouvement durant une période d'un an. Un habitant de l'une des régions peut donc observer que les autres régions entrent en hibernation selon une périodicité régulière : il peut en conclure que tous les soixante ans toutes les régions seront congelées ensemble. L'univers entier sera ainsi entièrement sans mouvement durant un an.

Plusieurs raisons incitent à rejeter la proposition de Shoemaker (Lowe, 2002, pp. 247-249)[14]. Il est d'abord contestable que l'on puisse déduire de ce

14. Cependant, l'idée de combiner une certaine permanence du monde avec le mouvement n'est pas sans intérêt et la suggestion que la possibilité de cette alliance de la permanence

qui est concevable ce qui est possible dans le monde physique. C'est un cas typique de confusion entre le possible logique et le possible physique. Par ailleurs, Shoemaker raisonne comme si les habitants de son monde imaginaire avaient l'évidence d'un temps sans mouvement et en tire la conclusion qu'il est possible qu'il y ait un temps sans mouvement. Mais ce raisonnement est formulé à l'envers. Nous devons d'abord savoir que quelque chose est réellement possible, et pas simplement logiquement possible, avant de faire confiance à l'évidence de cette possibilité. Ce réellement possible s'établit sur la base de l'expérience quotidienne et commune et de son analyse philosophique. Enfin, si nous supposons que A, B, C, sont réellement congelés et immobiles, savoir ce qui cause le dégel, ou cause le dégel après exactement un temps d'un an plutôt que quelques mois avant ou après devient très mystérieux. Ne serait-ce pas un mouvement cosmique ? Ou n'y aurait-il pas une cause transcendante devant intervenir à chaque fois pour changer les choses ?

Il est en tout cas difficile de nier le mouvement au nom de la science. Celle-ci implique des observations, des expériences qui, dans la pratique, impliquent des mouvements et des perceptions qui sont elles-mêmes des mouvements. Le raisonnement discursif lui-même est une sorte de mouvement.

La difficulté à nier le mouvement au nom de la physique mathématisée est maintenant claire, puisqu'à chaque instant l'on retombe sur le dilemme qui consiste à interdire le mouvement et le changement et néanmoins à les utiliser pour établir la thèse de son absence. Il convient donc de tenter de résoudre le problème. Mais il serait paradoxal d'essayer de le résoudre avec les instruments qui ont conduit à le créer, à savoir la physique mathématisée. En revanche, savoir par où pèche exactement cette discipline est une voie fructueuse pour essayer de sortir des difficultés qu'elle engendre.

8. Retrouver la mobilité

Avant tout, il faut rappeler que la perception première et commune du monde est celle d'un monde où le mouvement et les mobiles sont réels. Ces derniers bénéficient d'ailleurs d'une sécurité beaucoup plus grande que les ana-

et du changement est une affaire de périodicité mérite l'attention. Il se pourrait qu'il y ait une permanence du mouvement et un mobile incorruptible la produisant. Ce fut en tout cas la tentative d'Aristote et de Thomas d'Aquin sur la base de mouvements particuliers réels inscrits dans un mouvement cosmique continu et récursif. Peut-être est-ce ce qui nous fait défaut dans la cosmologie actuelle.

lyses mathématiques, même cohérentes et complexes, parce que les données des sens sont beaucoup plus immédiates, même en tenant compte de la sensibilité commune. La charge de compléter cette image mathématique revient en principe aux tenants de la seule image mathématique. Le partisan du monde quotidien n'a pas ce besoin. La philosophie de la nature basée sur le monde quotidien bénéficie elle aussi d'une grande sécurité et peut servir à compléter l'image mathématique.

C'est précisément ce à quoi nous allons nous livrer en discutant d'abord les diverses tentatives pour réintégrer le mouvement dans la théorie des univers blocs issus de la relativité. En supprimant toute référence à une structure privilégiée, la relativité générale dote chaque point de l'espace de son propre cône de lumière et donc de son propre espace-temps. Mais simultanément l'équivalence entre tous les points, obtenue grâce aux transformations de Lorentz, débouche sur une perspective globale où tous les points s'équivalent. Ainsi tout l'espace est présent en même temps, aucun lieu n'est privilégié et chaque tranche d'espace équivaut à toute autre. Si l'on isole une tranche, alors tous les objets qui s'y trouvent se trouvent dans le même lieu. Cependant le diagramme de Minkowski est orienté et la causalité, s'il y en a une, est équivalente au passé ou à des points spatiaux antérieurs.

Dans ce contexte, une première solution pour réintroduire du mouvement serait de supprimer toute portée ontologique à la relativité et de ne lui reconnaître qu'une valeur épistémique. Elle se bornerait à permettre de sauver certains phénomènes, et à les organiser élégamment, à être utile dans la conquête de l'espace, mais ne dirait absolument rien sur la réalité en elle-même. Cette interprétation a le mérite de s'accorder assez bien avec les orientations vérificationnistes et empiristes qui ont présidé à sa fondation[15]. Prior a développé la restriction de la portée ontologique à propos du temps (Prior, 1970, pp. 245-248 et 1996, pp. 47-52).

Il est également possible de discuter l'interprétation immobiliste de la relativité en lui imputant la faute d'une substantialisation de l'espace-temps. Mais ce serait une erreur de prendre l'espace-temps de Minkowski pour une substance concrète de plein droit. Si c'était le cas, alors aucun point de l'espace ne pourrait être privilégié. Mais en vérité, ce qui existe, ce sont les objets,

15. « Certainement, les arguments originaux en faveur du point de vue relativiste sont pleins de présupposés vérificationnistes sur la signification [...] et, en dépit du désaveu du point de vue vérificationniste émis par Einstein plus tard, personne à ma connaissance n'a fourni une conception adéquate des fondations de la relativité qui ne soit pas d'essence vérificationniste » (Sklar, 1985, p. 303, cité par Feser, 2019, p. 51).

les événements et les lieux et les déplacements ordinaires. Selon Woodruff, l'espace-temps de Minkowski n'est donc qu'une représentation géométrique de ce qui arrivera aux corps accélérés et comment cela affectera les mesures de l'espace et du temps, et de ce que sont les interactions causales possibles. Cela permet certaines prévisions sur le comportement des corps, mais ne supprime absolument pas le temps ni le mouvement réels (Woodruff, 2011).

Les propositions de Prior et de Woodruff sont intéressantes, mais elles ont le défaut de refuser toute portée réaliste aux sciences. On peut leur préférer l'idée que la physique relativiste rend en partie compte de la réalité, mais que cette physique est tout simplement fausse. C'est la position de Craig, appuyée sur une théorie néo-lorentzienne qui estime nécessaire d'introduire un repère spatio-temporel absolu par rapport auquel il y aura donc un lieu et un moment présent privilégié. Pour satisfaire cette exigence, force est de recourir à un éther, mais, précise Craig, ce n'est pas nécessairement un éther de Lorentz, ce pourrait être l'onde cosmique résiduelle de fond ou bien la non-localité quantique.

Théodore Sider envisage trois alternatives à l'univers-bloc (Sider, 2001, pp. 48-52), bien que pour sa part il demeure lui-même opposé au présentisme et au mobilisme. La première affirme l'existence de quelque point dans le tube d'univers en même temps que toute chose dans son cône de lumière du passé ; la seconde voie affirme l'existence du point et de toute chose dans son cône de lumière future ; enfin la troisième affirme l'existence du point et de chaque chose du genre espace comme séparées de ce point. Ainsi, au moins une part du tube d'univers est préservée en chacune des trois options, qui sont donc partiellement réalistes. Chacune des trois options nie également l'existence des deux autres parties du tube d'univers, de sorte qu'est ainsi préservée l'idée mobiliste selon laquelle tous les points du tube ne sont pas également réels. Néanmoins, selon Sider lui-même, ces trois options sont en fait très loin d'un présentisme et d'un mobilisme véritables. Les deux premières options s'en éloignent nettement puisque la première aboutit à l'idée que le mouvement et le passé seraient encore existants : les dinosaures seraient ainsi encore présents, et la seconde autorise à penser que les éventuelles futures rencontres avec les martiens sont déjà présentes. Seule la troisième option préserve quelque peu le réalisme du mouvement en privilégiant une tranche d'espace, mais ne parvient pas néanmoins à distinguer les points dans cette tranche : tous les objets se trouvent à un moment présent ensemble dans le même lieu. De toute manière, conclut Sider, il faudrait imaginer un hyperplan privilégié de simultanéité relatif à quelque structure de référence à l'intérieur du cône de Minkowski et ne reconnaître de

réalité qu'à lui seul. Rien dans la géométrie des espaces-temps de Minkowski ne permet d'accepter un hyperplan privilégié de cette sorte.

On peut aussi mentionner la proposition de Monica Ugaglia (2015) qui, d'une part, reconnaît l'incompatibilité entre la conception aristotélicienne du mouvement et la cinématique moderne, mais qui, d'autre part, établit une forte analogie entre la théorie hydrostatique et la conception aristotélicienne du mouvement, en rappelant le rôle capital que joue alors la relation entre le mobile et le milieu ainsi que l'importance de l'état stable final auquel aboutit le mouvement.

Reste une dernière tentative de réconciliation entre présentisme, mobilisme, et relativité. Dean Zimmerman estime que la relativité et la physique mathématique, tout en décrivant la réalité physique telle qu'elle est, ne fournit pas une description exhaustive de celle-ci, description qui doit donc être complétée par la philosophie, par la métaphysique plus exactement dans la terminologie de Zimmerman. L'argumentation philosophique du présentisme fournit une preuve indépendante qu'il doit y avoir une tranche privilégiée du tube d'univers décrit par la physique, même si la physique à elle seule est impuissante à nous dire ce qu'elle est. Zimmerman interprète le tube de Minkowski comme représentant « l'ensemble des lieux où les événements peuvent se produire » avec l'ajout d'une vague de devenir qui se meut à travers le tube comme s'il était déjà advenu. Le présentiste peut admettre l'existence de points non présents dans le tube en niant pourtant qu'ils soient des objets ou des événements qui les occupent. Les points présentement occupés constituent une tranche privilégiée.

La proposition de Zimmerman, pour autant qu'elle permet de donner aux points du tube de Minkowski non occupés une certaine réalité (en puissance) est réaliste. Même la position de Woodruff peut aussi être comprise comme réaliste plutôt qu'instrumentaliste (Woodruff, 2011, pp. 120-124 ; Feser, 2019, p. 53). En effet, comme il le remarque, comprendre le tube de Minkowski comme une substance réelle et concrète ne fait pas effectivement partie de la physique relativiste, et n'est pas non plus étroitement impliqué par celle-ci. Ainsi Koperski peut-il déclarer que nous pouvons comprendre l'espace-temps de Minkowski comme un espace de phases représentant les états possibles de l'univers en évolution (Koperski, 2015, p. 129). Il s'agit d'une position non instrumentaliste. Nous pouvons donc aussi comprendre la position de Zimmerman comme restant réaliste, même s'il refuse la réalité des points non occupés de l'espace-temps.

La question devient donc celle de reconnaître une certaine réalité à l'espace-temps non occupé, différente de celle de l'espace-temps occupé par des objets et des événements. La philosophie connaît très bien ce type de problème. Elle possède même exactement ce qu'il faut pour le résoudre depuis fort longtemps. Il est en effet souhaitable et nécessaire de ne pas reconnaître à la réalité un seul sens. Cela revient à réutiliser ici la très importante distinction entre ce qui est en puissance et ce qui est en acte. Un espace de phases indique ce qui est possible, les points occupés indiquent ce qui est présent et mobile en acte. Une solution de ce genre a en outre le mérite de convenir aussi à la dimension quantique de l'univers, si l'on accepte de comprendre le quantique comme une actualisation du possible. Enfin, elle incite à comprendre la cosmologie standard comme une impulsion donnée aux particules par l'explosion primitive faisant ainsi passer un champ quantique en puissance à une actualisation de plus en plus poussée. Il est alors évident que les particules, les astres et toutes choses se trouvent dotés d'un mouvement.

9. Conclusion : appel nécessaire à une philosophie de la puissance et de l'acte

Comme on le voit, le complément que requiert la relativité prend certes une certaine expression physico-mathématique (l'espace de phases), mais ce complément est puisé dans la philosophie. Pour être plus précis, il est puisé dans cette partie de la philosophie qui concerne justement le mouvement des réalités sensibles en s'appuyant sur l'expérience commune de celles-ci et sur les principes qui la commandent, la puissance et l'acte en l'occurrence. Mais de quel droit peut-on privilégier cette connaissance empruntée à l'analyse philosophique de l'expérience sensible ? La science ne consiste-t-elle pas à se débarrasser des apparences ? À cette dernière question, il n'est pas possible de répondre que la science se tient totalement éloignée du sensible. On a noté, avec Russell, comment il était nécessaire de conserver une théorie causaliste de la sensation pour faire droit aux explorations de la science et à ses retours plus ou moins réussis à l'expérience. La science elle-même répond donc en privilégiant aussi finalement, au moins partiellement, l'expérience sensible. C'est que celle-ci bénéficie d'une immédiateté qui lui donne, à condition d'avoir des sens en bon état, une sécurité que ne possèdent pas les constructions qui en sont trop éloignées. Pour compléter l'abstraction de plus en plus radicale de la physique mathématisée, il est donc nécessaire et possible de faire appel à une philosophie plus proche de l'expérience sensible : en l'occurrence celle du mouvement

qui est fournie par la sensibilité commune à laquelle on peut faire confiance, ainsi qu'à son analyse qui conduit à comprendre le mouvement par l'acte et la puissance. La même démarche est valide pour le temps. Ceci sans abandonner intégralement les analyses de la physique mathématisée[16].

Plus intéressante encore dans la recherche d'un mouvement réel est l'interprétation de la relativité en termes de géométrie dynamique. Sans concéder un univers vide de matière ni sans résorber l'univers entier dans une géométrie, il est possible de conserver de l'interprétation géométrodynamique de Wheeler l'idée d'une dominance d'une structure géométrique de l'univers. Lochak (1994) a pu souligner cette géométrisation de la physique. Toutefois, on est en droit de se demander comment une structure géométrique pourrait par elle-même mouvoir. C'est la vieille constatation aristotélicienne opposée à Platon : les nombres ne meuvent pas, les structures non plus. Pourtant, selon l'astrophysicien, les objets de l'univers sont mobiles. Dès lors, plus qu'à une structure mathématique nous avons affaire à une forme, c'est-à-dire à une organisation qui est aussi activité. Ainsi la structuration géométrique spatio-temporelle ne nous indique pas seulement une intelligibilité, mais une intelligibilité active. Selon cette perspective, l'espace-temps n'est donc plus seulement une organisation, mais une forme activante. Plus concrètement, les géodésiques et l'espace-temps peuvent être ainsi conçus comme l'organisation active qui dirige la matière et lui imprime les trajectoires correspondant à la courbure de l'espace-temps.

Mieux encore, l'espace-temps n'est peut-être pas seulement une géométrie, mais encore un objet lui-même composé d'une forme et d'une activité énergique. La matière-énergie noire pourrait être une bonne candidate pour cette fonction. En tout état de cause, la réalité d'un mouvement induit par l'activité d'une forme cosmique sur la matière ne semble ni inconcevable ni contraire aux données expérimentales. Dès lors, cette interprétation de la relativité et de la cosmologie donne toute sa place au mouvement, plus évident expérimentalement que le temps lui-même. N'est-ce pas d'ailleurs la raison pour laquelle les tubes d'univers de Minkowski sont orientés asymétriquement à partir de l'origine ? En ce cas, ils nous indiquent bien des trajectoires de particules selon le postérieur et l'antérieur, c'est-dire de véritables mouvements, engendrant aussi un temps réel.

16. On remarquera d'ailleurs que les mathématiques elles-mêmes gagneraient beaucoup à introduire les notions d'acte et de puissance pour résoudre autrement que par des tours de passe-passe opérationnalises certains de leurs paradoxes.

Incontestablement, le mouvement est très difficile à comprendre en lui-même. C'est pourtant une illusion de penser le comprendre en le décomposant ou en le réduisant à des équations qui sont par nature immobiles et étrangères aux notions qui permettent de l'approcher. L'analyse de l'expérience et du langage ordinaires se révèle pour cela bien plus féconde. Elle permet de comprendre le mouvement relativement au sujet mobile et à son acte. Toutefois, elle n'oblige pas à refuser les acquis de la science, mais elle contraint à les interpréter, répondant ainsi à leur propre demande : c'est ce qui a été tenté au cours de ces pages.

Bibliographie

Aristote (1982). *Aristotelis Physica* (edidit W. Ross). Oxonii : E typographeo Clarendoniano.

Aristote (1983). *Movement of Animals ; Progression of Animals* ([edit.] with an English transl. by E. S. Forster). (The Loeb classical library ; 323). Cambridge (Mass.) : Harvard University Press ; London : W. Heinemann.

Barbour, J. (1999). *The End of Time : The Next Revolution in Physics*. Oxford : Oxford University Press.

Bergson, H. (1907). *L'Évolution créatrice*. Paris : F. Alcan.

Bigelow, J. (2013). The Emergence of a New Family of Theories of Time. Dans H. Dyke, & A. Bardon (edit.). *A Companion to the Philosophy of Time* (pp. 155-158). (Blackwell companions to philosophy ; 52). Malden (MA) : J. Wiley.

Black, M. (1962). Review of G. J. Withrow's « The Natural Philosophy of Time ». *Scientific American*, 206, 181–182.

Bourne (C.), *A Future for Presentism*. Oxford : Clarendon Press.

Chakravartty, A. (2007). *A Metaphysics for Scientic Realism : Knowing the Unobservable*. Cambridge : Cambridge University Press.

Connes, A. (1990). *Géométrie non commutative*. Paris : InterEditions.

D'Espagnat, B. (1994). *Le réel voilé : analyse des concepts quantiques*. [Paris] : Fayard.

Dutton-Blake, D. (1996). Nicholas d'Autrecourt and William of Ockham on Atomism, Nominalism, and the Ontology of Motion. *Medieval Philosophy*, 5(1), 63–86.

Feser, E. (2019). Actuality, Potentiality, and Relativity's Block Universe. Dans W. M. R. Simpson, Koons, R. C., & Teh, N. J. (edit.). *Neo-Aristotelian perspectives on Contemporary Science* (pp. 35-60). London : Routledge.

Heisenberg, W. (1962). *Physics and Philosophy : The Revolution in Modern Science*. New York.

Husserl, E. (1976). *La crise des sciences européennes et la phénoménologie transcendantale* (traduit de l'allemand et préfacé par G. Granel). (Bibliothèque de philosophie). [Paris] : Gallimard.

Kant, I. (1968). *Critique de la raison pure* (traduction française avec notes par A. Tremesaygues et B. Pacaud). Paris : Presses universitaires de France.

Kant, I (1990). *Kritik der reinen Vernunft* (hrsg. von R. Schmidt ; mit einer Bibliographie von H. Klemme) (3. erweiterte Aufl.). (Philosophische Bibliothek ; 37a). Hamburg : F. Meiner.

Kopersky, J. (2015). *The Physics of Theism : God, Physics, and the Philosophy of Science*. Chichester (West Sussex) : Wiley.

Ladyman, J. (s.d.), Structural Realism. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, https://plato.stanford.edu/

Leibniz, G. W. (1921). *Nouveaux essais sur l'entendement humain* (avec une notice biographique, une analyse et des notes par P. Lemaire). (Les Classiques pour tous ; 59). Paris : Hatier.

Lewis, D. K. (2001). *On the Plurality of Worlds* (2e edit.). Oxford : Wiley-Blackwell.

Lochak, G. (1994). *La géométrisation de la physique*. (Nouvelle bibliothèque scientifique). [Paris] : Flammarion.

Lowe, E. J. (2002). *A Survey of Metaphysics*. Oxford : Oxford University Press.

Lycan, W. (1979). The Trouble with Possible Worlds. Dans M. Loux (edit.), *The Possible and the Actual : Readings in the Metaphysics of Modality* (pp. 274-317). Ithaca : Cornell University Press.

Mc Connell, J. (1958). Whittaker's correlation of Physics and Philosophy. *Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society*, 11(1), 57–68.

Mc Taggart, J. M. E. (1927). *The Nature of Existence. Vol. 2*. Cambridge : Cambridge University Press, 1927.

Muybridge, E. (1882). *The Attitudes of Animals in Motion, Illustrated with the Zoopraxiscope*. [S.l. : s.n.].

Muybridge, E. (1888). *Animal Locomotion : The Method and the Result*. Philadelphia : J. B. Lippincott.

Marey, E. J. (1873). *La machine animale : locomotion terrestre et aérienne*. (Bibliothèque scientifique internationale ; 3). Paris : G. Baillière.

Marey, E. J. (1894). *Le mouvement*. Paris : G. Masson.

Prior, A. (1970). The notion of the Present. *Studium Generale*, 23, 245–248.

Prior, A. (1996). Some Free Thinking about Time. Dans *Logic and Reality : Essays on the Legacy of Arthur Prior* (pp. 47-52). Oxford : Clarendon Press.

Pruss, A. R. (2011). *Actuality, Possibility, and Worlds*. (Continuum studies in philosophy of religion). New-York : Continuum.

Roark, T. (2011). *Aristotle on Time : a study of the « Physics »*. Cambridge : Cambridge University Press.

Russell, B. (1927). *The Analysis of Matter*. London : Kegan Paul, Trench, Trubner ; New York : Harcourt, Brace.

Russell, B. (2003). On the Notion of Cause. Dans S. Mumford (edit.), *Russell on Metaphysics : Selections from the Writings of Bertrand Russell* (pp. 163-182). London : Routledge.

Russell, B. (2009). *A B C of Relativity*. London : Routledge. Édit. orig. : 1925.

Sider, Th. (2001). *Four-Dimensionalism : An Ontology of Persistence and Time*. Oxford : Clarendon.

Shimony, A. (1981). Réflexions sur la philosophie de Bohr, Heisenberg et Schrödinger. *Journal de physique*, Colloques, 42 (C2), pp. C2-81-C2-98. ff10.1051/jphyscol:1981204ff. ffjpa-00220690f.

Shoemaker, S. (1969). Time without Change. *Journal of Philosophy*, 66, 363–381.

Sklar, L. (1985). Time, Relativity and Reality. Dans L. Sklar (edit.), *Philosophy and Spacetime Physics* (p. 51). Berkeley : University of California Press.

Smolin, L. (2013). *Time Reborn : From the Crisis in Physics to the Future of the Universe*. New-York : Houghton Mifflin Harcourt.

Tonnelat, M.-A. (1971). *Histoire du principe de relativité*. (Nouvelle bibliothèque scientifique). Paris : Flammarion.

Ugaglia, M. (2015). Aristotle's Hydrostatical Physics. *Annali della Scuola normale superiore di Pisa, Classe di scienze*, 7(1), 169–199.

Van Melsen, A. G. (1954). *The Philosophy of Nature* (2nd edition). (Duquesne studies : Philosophical series ; 2). Pittsburgh : Duquesne University.

Vetter, B. (2015). *Potentiality : From Dispositions to Modality*. (Oxford philosophical monographs). New York : Oxford University Press.

Weisheipl, J. A. (1955). *Nature and Gravitation*. River Forest : Albertus Magnus Lyceum.

Weyl, H. (1949). *Philosophy of Mathematics and Natural Science* (transl. by O. Helmer ; revised and augmented English edit.). Princeton (N. J.) : Princeton University Press.

Whitehead, A. N. (1967). *Science and the Modern World*. New York (N.Y.) : Free Press.

Woodruff, D. M. (2011), Presentism and the Problem of Special Realitivity. Dans W. Hasker, T. J. Oord, & D. Zimmerman (eds.), *God in an Open Universe : Science, Metaphysics and Open Theism* (chap. 5). Eugene ; Oregon : Pickwick Publications.

Revue des Questions Scientifiques, 2022, 193 (1-2) : 149-155

Varia

Un complément marginal à la bibliographie d'Alexandre Koyré (1924-2017)

Jonathan Wenger
Université de Genève
Jonathan.Wenger@unige.ch

Résumé. – Ce complément met sommairement à jour la bibliographie d'Alexandre Koyré, apportant une quarantaine de références actuellement non répertoriées (textes, rééditions et traductions) et illustrant l'intérêt toujours pérenne de l'œuvre de cet historien des idées.

Abstract. – This complement updates Alexander Koyré's bibliography : about forty unknown references (newly discovered texts, reeditions and translations) are illustrating the constant interest for the work of the historian of ideas.

Mots clés. – Bibliographie — Histoire des religions — Histoire des sciences — Koyré, Alexandre

Il n'y pas de fin à l'écriture des livres,
et trop d'étude fatigue la chair.
Qoh. 12, 12.

1. Introduction

Comme le savent tous ceux qui ont pratiqué cet exercice exigeant, une bibliographie d'auteur parfaitement complète relève de l'utopie. Les publications posthumes comme les références de publication discrètes, ou difficilement accessibles (et bien que les politiques de rétronumérisation aient grandement fait évoluer les choses) font de cette tâche une de celles qui ne sont jamais terminées.

Le répertoire que nous publions ici sert ainsi de modeste complément au travail de référence publié il y a une vingtaine d'années (Stoffel, 2000). Il se focalise sur la seule littérature primaire. Outre une vingtaine de textes inconnus (articles, traductions et recensions) recensés pour la première fois,

il consigne également les nouvelles publications (en langue originale ainsi qu'en traduction) parues depuis Stoffel, 2000, permettant de mesurer la diffusion comme l'actualité persistante d'Alexandre Koyré.

Pour plus de clarté, mais sans surcharger le texte de ce modeste travail, nous indiquons, pour les rééditions, le titre original des articles (les monographies constituant un corpus assez restreint) et le(s) renvoi(s) nécessaire(s) à la cote attribuée à l'original dans Stoffel (2000) ; nous donnons les mêmes précisions pour leurs traductions ; nous précisons encore le titre original si le titre diffère ou n'est pas d'une langue communément lue en Europe de l'Ouest.

2. Complément bibliographique

1924

[Recension de] Hessen (S.), *Osnovy pedagogiki*, in *Journal de psychologie normale et pathologique*, 21e année, 15 janvier – 15 mars 1924, pp. 299-301.

1926

Un chapitre intellectuel de l'histoire en Russie : la persécution des philosophes sous Alexandre Ier, in *Le Monde slave*, n. s., 3e année, t. 4, 1926, n°10, pp. 90-117.

Repris, adapté, dans *La Philosophie et le problème national en Russie* (29.2), pp. 46-87.

1929

Cassirer (Ernst), *Pathologie de la conscience symbolique* / traduction par Alexandre Koyré, in *Journal de psychologie normale et pathologique*, 26e année, 15 mai – 15 juin 1929, pp. 289-336 ; 15 juillet – 15 octobre, pp. 523-566.

Ce texte constitue le chapitre 6 d'Ernst Cassirer, *Phänomenologie der Erkenntnis* (Berlin : B. Cassirer, 1929). Les volumes complets ne seront traduits en français qu'en 1972 par les soins de Claude Fronty.

Chestov (Léon), *Spéculation et prophétie* / [traduction par Alexandre Koyré], in *Palestine : Nouvelle Revue Juive*, vol. 3, avril 1929, n°4, pp. 150-159 ; mai 1929, n°5, pp. 206-213 ; juin 1929, n°6, pp. 257-266 ; vol. 4, juillet-août 1929, n°7-8, pp. 19-29 ; septembre-décembre 1929, n°9-12, pp. 130-145.

Simplement signée M. Koyré, on attribue sans hésitation cette traduction à Alexandre Koyré : des annonces répétées dans de précédentes livraisons de la revue annonçaient sa contribution à venir. Il n'y fut jamais publié que ce texte.

[Réponse à une lettre d'Emmanuel Aegerter à la rédaction], in *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, 54e année, t. 108, juillet-décembre 1929, respectivement pp. 476-477 et pp. 477-478.

Koyré avait rendu compte (29.8), sans grande aménité, de *L'Évangile éternel* de Joachim de Flore, traduit et précédé d'une biographie par Emmanuel Aegerter. Pointant du doigt de nombreuses faiblesses philologiques et historiques, il taxait l'auteur de médiéviste improvisé — non sans raison, celui-ci étant bien davantage de l'écrivain (il est de fait poète et romancier) que de l'historien, malgré une certaine conscience des questions en présence. Face à une critique scientifique, toutefois, la confrontation ne pouvait être clémente.

1932

[Recension de l'ouvrage collectif] *L'Orientation actuelle des sciences*, Paris : Alcan, 1930, in *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, 57e année, t. 114, juillet-décembre 1932, pp. 315-318.

1941

Introduction à la lecture de Platon, in *Revue du Caire*, juin 1941, n°31, pp. 116-141 ; juillet 1941, n°32, pp. 281-301.

Ces deux livraisons correspondent au chapitre « Le dialogue », première partie de l'*Introduction à la lecture de Platon* (45.1).

1943

Pour comprendre Descartes, in *La France nouvelle*, Buenos Aires, 26 février 1943, n°6, p. 6.

Ce court texte est composé, avec diverses articulations réaménagées, d'extraits de la première partie des *Entretiens sur Descartes*, à savoir « Le monde incertain » (44.12). Il a été republié tel quel dans *Le Canada*, Montréal, 4 mai 1943, n°25, p. 4.

Via dolorosa, [recension de Yves R. Simon, *The Road to Vichy, 1918-1938* ; de D. Barlone, *A French officer diary* ; de Leon Marshal, *Vichy : two years of deception* et d'Alex de Montmorency, *The Enigma of Admiral Darlan*], in *Free World*, t. 6, 1943, n°3, septembre 1943, pp. 279-280.

1944

« Le Boche veut l'anéantissement de la France saignée à blanc », in *Le Soleil*, Québec, 11 avril 1944, n°88, p. 3.

Bref entretien précédant une conférence sous les auspices de l'Alliance française, à l'hôtel Ritz-Carlton de Québec, le 11 avril 1944. Koyré semble avoir beaucoup profité de son séjour en Amérique pour développer certaines des idées qu'il expose notamment, par exemple, dans 43.6, 44.2, 44.9 et 44.11, ainsi que dans *supra*, *Via dolorosa*.

Réflexions sur le mensonge, in *Revue du Caire*, février 1944, n°63, pp. 310-332.

Réédition de 43.6.

1945

Aristotélisme et platonisme dans la philosophie du Moyen Âge, in *Revue du Caire*, septembre 1945, n°82, pp. 361-378 ; octobre 1945, n°83, pp. 501-516.

Réédition de l'article du même titre (44.1), paru dans la revue québécoise *Les gants du ciel*.

L'armée allemande, in *La République française : revue trimestrielle de l'idéologie républicaine et démocratique*, 1945.

Réédition de 44.2. Nous n'avons pu accéder que partiellement au texte, publié en plusieurs livraisons. La revue a probablement accueilli d'autres articles de Koyré.

1946

La cinquième colonne, in *Revue du Caire*, décembre 1946, n°95, pp. 501-528.

Réédition de 44.3.

1947

[Intervention dans la discussion suivante] Festugière (Jean, R. P.), *La religion de Platon dans l'« Epinomis »*, séance du 22 mars 1947, in *Bulletin de la Société française de philosophie*, vol. 42, 1947, n°2, p. 47.

J.-A.-N. Condorcet, in *Revue du Caire*, avril 1947, n°99, pp. 282-311.

Édition originale de 48.1.

The conservative critics : Maritain / traduit par Evelyn T. Riesman, in *University Observer : A Journal of Politics* (Chicago), vol. 1, printemps-été 1947, n°2, pp. 83-89.

Traduction de *Si le grain ne meurt…*, 44.3.

1949

[*Rapport sur l'exercice 1948-1949 : Histoire des idées religieuses dans l'Europe moderne. 1re conférence : Le problème de l'infini au XVIIe siècle. 2e conférence : Études sur la pensée religieuse du XVIIe siècle : Théologie puritaine et christianisme raisonnable*], in *Annuaire de l'École pratique des hautes études : Sciences religieuses*, 1949, pp. 72-77.

Absent de la première édition de *De la mystique à la science* (86.1) et donné dans la seconde, *infra* 2016, pp. 211-214.

1950

Participations à diverses discussions (en plus de celle suivant sa propre contribution), in *La synthèse, idée-force dans l'évolution de la pensée*, in *Revue de synthèse*, t. 67, 1950, p. 18, 20, 26, et 151.

1952

[Conférence sans titre] in *El peligro de la libertad intelectual : Mesa redonda de la UNESCO*, tercer congreso interamericano de filosofía. – UNAM : Imprenta Universitaria, México, 1952. – pp. 66-70.

1954

Intervention dans *L'Europe et la technocratie américaine, troisième entretien public de Le nouveau monde et l'Europe : Texte des conférences et des entretiens organisés par les Rencontres internationales de Genève et des conférences prononcées aux Rencontres intellectuelles de Sao Paulo 1954*. – Neuchâtel : Éditions de la Baconnière, 1954. – pp. 239-241. – (Histoire et société d'aujourd'hui).

1976

The finite world of Copernicus, in *The concepts of space and time : their structure and their development* / éd. Milic Capek. – Dordrecht : Springer, 1976. – pp. 51-55. – (Boston Studies in the Philosophy of Science ; 22).

Réédition d'un fragment de 57.1.

The infinite space in the fourteenth century, in *The concepts of space and time : their structure and their development* / éd. Milic Capek. – Dordrecht : Springer, 1976. – pp. 47-50. – (Boston Studies in the Philosophy of Science ; 22).

Traduction partielle, par Mary-Alice et David A. Sipfle, de *Le vide et l'espace infini au XIVe siècle* (49.1), à partir des *Études d'histoire de la pensée philosophique* (61.7), en l'occurrence pp. 72-74 et 83-84.

1978

[Interventions dans les] *Discussions sur la guerre*, in *Digraphe*, décembre 1978, n°17, pp. 121-139.

Koyré intervient aux pp. 123, 125, 132-133, 136-139. Les séances eurent lieu les 7 et 21 novembre, ainsi que le 5 décembre 1939, avec Bataillard, Bataille, Prévot, Wahl, Pelorson, Touchard *et al.* Il s'agit manifestement d'une discussion organisée par le Collège de sociologie ; les éditeurs sont toutefois restés avares de précisions, et nous n'avons pu documenter davantage ces débats.

1979

Sobre a influência das concepções filosóficas na evolução das teorias científicas / traduit par J. E. Rodriges Villalobos, in *Revista da Faculdade de Educação*, São Paulo, vol. 5, 1979, n°1-2, pp. 55-70.

Traduction de 55.3.

1981

Dal mondo chiuso all'universo infinito / trad. di Luca CAFIERO. – 3a ed. – Milano : Feltrinelli editore, 1981. – 215 p. – Illus.

Réédition de 70.2.

Epiménides, el mentiroso : conjunto y categoría, in *Cuadernos de Filosofía y Letras*, Bogota, vol. 4, janvier-juin 1981, n°1-2, pp. 73-119.

Traduction de 47.1.

1990

Philosophers and the Machine, in *Techniques to technology : a French historiography of technology* / éd. Sabyasachi BHATTACHARYA et Pietro REDONDI, traduit par Radha SHARMA. – Londres : Sangam, 1990. – pp. 112-145.

Traduction de 48.3 et 48.4.

1997

La función política de la mentira moderna / trad. José POZO SANJUÁN, in *Revista de la Asociación Española de Neuropsiquiatría*, Madrid, vol. 17, 1997, n°63, pp. 501-514.

Traduction de 43.6, sous le titre donné à la traduction anglaise (cf. 45.6).

2000

Agnosticisme, dans *Les mots de l'histoire : le vocabulaire historique du Centre international de synthèse* / édition établie, présentée et annotée par Margherita PLATANIA. – Napoli : Bibliopolis, 2000. – pp. 59-63. – (Istituto italiano per gli studi filosofici : serie testi ; 14).

Filozofia lui Jakob Böhme / trad. Roxana BĂIAŞU şi Sorin BĂIAŞU. – Bucureşti : Humanitas, 2000. – 552 p. – (Monografiile Humanitas). – ISBN 973-28-0275-8.

2003

Filosofia e storia delle scienze / a cura di Andrea CAVAZZINI. – Milano : Associazione culturale Mimesis, 2003. – 89 p. – (Epistemologia).

Contient : « Sull'influenza delle concezioni filosofiche sull'evoluzione delle teorie scientifiche » (55.3), des *Études d'histoire de la pensée philosophique* ; « Prospettive sulla storia delle scienze » (63.1), des *Études d'histoire de la pensée scientifique* ; « Comunicazione di Alexandre Koyré in occasione del centenario della nascita di Emile Meyerson » (61.4), « Orientamento delle ricerche e progetti di insegnamento, presentati da Alexandre Koyré all'Assemblea dei professori del Collège de France », (51.5) de *Titres et travaux. Propositions pour un enseignement au Collège de France* ; les trois derniers, « L'età della ragione : da Bacon a Voltaire » ; « Il problema dell'infinito nel XVII secolo (1947-1948) », « L'infinito cosmologico e l'infinito teologico (1949-1950) », « Scienza e teologia », sont extraits de *De la mystique à la science* (86.1).

Paracelsus (1493-1541), in *Graduate Faculty Philosophy Journal*, New York, vol. 24, 2003, n°1, pp. 169-208.

Traduction de 33.3, manifestement différente de celle de Janet Coleman (71.6).

2005

Cong feng bi shi jie dao wu xian yu zhou / [trad. et éd.] Chen Rui Lin, Zhang Le. – Taipei City : Shang Zhou, 2005 (man 94). – 292 p. – (Zhe xue ren ; 2). –ISBN 986-1 24-316-X.

Traduction de *From the closed world to the infinite universe* (57.1)

O vplivu filozofskih konceptov na razvoj znanstvenih teorij, in *Filozofski vestnik*, Ljubljana, vol. 26, 2005, n°1, pp. 93-105.

Traduction slovène d'*Influence of philosophical trends on the formulation of scientific theories* (55.3), basée sur l'édition française reprise dans les *Études d'histoire de la pensée philosophique* (61.7).

Razmišljanja o laganju / [trad. par] Vladimir ARANĐELOVIĆ, in *Republika*, février 2005, n°350-351, 8 p.

Traduction bosniaque des *Réflexions sur le mensonge* (43.6).

2006

Do mundo fechado ao universo infinito / tradução Donaldson M. GARSCHAGEN ; apresentação e revisão técnica Manoel BARROS DA MOTTA. – 4a ed. revista. – Rio de Janeiro : Forense Universitária, 2006. – 287 p. – ISBN 85-218-0391-5.

2007

Estudios de historia del pensamiento científico / traducción de Encarnación PÉREZ SEDENO y Eduardo BUSTOS ; prólogo por René TATON. – 16a ed. – Madrid : Siglo XXI de España editores, 2007. – 394 p. – (Teoría). Index, illus.

Réédition de 77.1.

Razmišljanja o laži, in *Europski glasnik – Le Messager européen*, Zagreb, 2007, n°12, pp. 28-42.

Traduction croate des *Réflexions sur le mensonge* (43.6).

2008

Perspectives sur l'histoire des sciences, in *L'histoire des sciences : Méthodes, styles et controverses* / textes réunis par Jean-François BRAUNSTEIN ; traductions par Jean-François BRAUNSTEIN, Vincent GUILLIN et Anna C. ZIELINSKA. – Paris : Librairie philosophique J. Vrin, 2008. – pp. 147-158. – (Textes clés).

Réédition de 63.1, d'après sa reprise en volume français sous ce titre (73.3).

Perspektywy dla historii nauki, in *Studia Philosophica Wratislaviensia*, Wroclaw, vol. 3, 2008, n°1, pp. 131-137.

Traduction polonaise des *Perspectives sur l'histoire des sciences* (63.1), d'après sa reprise en volume français (73.3).

Narodziny nowożytnego przyrodoznawstwa, in *Studia Philosophica Wratislaviensia*, Wroclaw, vol. 3, 2008, n°1, pp. 139-149.

Traduction polonaise de l'introduction d'*À l'aube de la science classique* (39.1), d'après sa reprise dans le volume unique des *Études galiléennes* (66.3).

2016

De la mystique à la science : cours, conférences et documents (1922-1962) / nouvelle édition revue et augmentée par Pietro REDONDI. – Paris : Éditions de l'École des hautes études en sciences sociales, 2016. – 333 p. – (En temps & lieux ; 58).

Édition augmentée de 86.1.

La révolution astronomique : Copernic, Kepler, Borelli. – Paris : Société d'édition « Les Belles Lettres », 2016. – 528 p. – (L'Âne d'or ; 57).

Réédition de 61.2.

Un inédit d'Alexandre Koyré : « Galilée » (cours au lycée Louis-le-Grand du 9 avril 1946) / [présentation de Jean SEIDENGART], dans *Vérité scientifique et vérité philosophique dans l'œuvre d'Alexandre Koyré,*

suivi d'un inédit sur Galilée / sous la direction de Jean SEIDENGART. – Paris : Société d'édition « Les Belles Lettres », 2016. – pp. 323-346. – (L'Âne d'or ; 56).

2017

The political function of the modern lie, in *October*, Cambridge, 2017, n°160, pp. 143-151.

Réédition de 45.6.

Remerciements

Mes remerciements vont à Jean-François Stoffel pour l'accueil qu'il a aimablement réservé à ce travail dans une précédente version, que ses conseils et renseignements ont clairement contribué à améliorer.

3. Bibliographie

Stoffel, J.-Fr. (2000). *Bibliographie d'Alexandre Koyré* (introduction de P. Zambelli). (Biblioteca di Nuncius : studi e testi ; 39). Firenze : Leo S. Olschki.

Analyse critique

History of Science and Technology in China

Une histoire vue de l'intérieur de la Chine

Andrea Bréard
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
andrea.breard@fau.de

The Origins of Sciences in China / edited by Jiang Xiaoyuan. – Singapour : Springer & Shanghai Jiao Tong University Press, 2021. – x, 962 p. – (History of Science and Technology in China ; 1). – 319,93 €. – isbn 978-981-15-7854-0 (version électronique).

The Studies of Heaven and Earth in Ancient China / edited by Jiang Xiaoyuan. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2021. – vii, 521 p. – (History of Science and Technology in China ; 2). – 319,93 €. – isbn 978-981-15-7842-7 (version électronique).

Jiang Xiaoyuan 江晓原 (éd.), 源远流长. – Shanghai : Shanghai Jiaotong University Press 上海交通大学出版社, 2016 – (中国科学技术通史 ; 1).

Jiang Xiaoyuan 江晓原 (éd.), 经天纬地. – Shanghai : Shanghai Jiaotong University Press 上海交通大学出版社, 2016 – (中国科学技术通史 ; 2).

En juin 2021, le bimensuel du comité central du parti communiste chinois *Qiushi* publie « un article important » (selon le journal), écrit par Xi Jinping. Sous le titre *Utiliser l'histoire pour en faire un miroir, utiliser l'histoire pour comprendre les aspirations, connaître l'histoire pour aimer le parti, connaître l'histoire pour aimer la Chine* (以史为镜，以史明志，知史爱党，知史爱国), il reproduit des extraits de la pensée de Xi Jinping développée entre mars 2013 et mars 2021. Même si les devises de ce titre se réfèrent avant tout au rôle de l'histoire moderne depuis la fondation du PCC en 1921, le contexte de l'éducation patriotique dans lequel il se situe instrumentalise également les sciences

et les techniques de la Chine ancienne pour expliquer « le grand renouveau de la nation chinoise » (中华民族伟大复兴). Dans ce cadre politique, un certain nombre d'ouvrages encyclopédiques ont été produits en Chine, destinés à compléter, à contrer ou à « réexaminer dans le contexte de la nouvelle ère technologique »[1] l'entreprise encyclopédique de *Science and Civilisation in China*, commencée par Joseph Needham dans les années 1950 et continuée au-delà de son décès en 1995. Le dernier projet de ce type en langue chinoise, l'*Histoire générale des sciences et techniques de Chine* (中国科学技术通史), a vu le jour en 2016 ; il a été traduit en anglais sous le titre *History of Science and Technology in China* et publié par Springer en 2021.

Selon le Postscript du premier volume de cette dernière série, celle-ci aurait « ses origines dans la demande et la proposition des camarades dirigeants du Centre » (vol. 1, p. 961)[2]. Je reviendrai sur les implications de ce contexte. Ce par quoi cette série se distingue en tout cas explicitement, c'est qu'elle est destinée aussi bien à un public académique que général. Son éditeur, Jiang Xiaoyuan 江晓原, jusqu'en 2017 professeur à l'Université Jiao Tong de Shanghai et directeur de la School d'histoire et de la culture des sciences (科学史与科学文化研究院) — unité qui a été intégrée en 2018 à la School du Marxisme — nous explique, dans la seule préface de deux pages à la série tout entière, comment il pensait parvenir à concilier les attentes de ces deux publics de lecteurs. Premièrement, en choisissant les meilleurs experts du domaine pour satisfaire les standards académiques et s'assurer d'inclure les plus récents résultats de recherche. Parmi la quarantaine d'auteurs, la présence de deux anciens directeurs de l'Institut d'histoire des sciences naturelles de l'Académie des sciences de Chine (中国科学院自然科学史研究所) est régulièrement soulignée : Liu Dun (Président de l'Union internationale d'histoire et philosophie des sciences, Division d'histoire des sciences et technologies IUHPS/DHST)[3] et Liao Yuqun (Président de la Société chinoise d'histoire des sciences et des technologies). Deuxièmement, c'est par la structure du livre, qui adopte la manière des encyclopédies britanniques du XIXe siècle avec des entrées longues

1. "李約瑟的觀點，在新技術時代的語境下，也有重新審視和補充的必要性." Voir l'article《中國科學技術通史》都有哪些作者大牛？https://kknews.cc/culture/mmbo3z.html (avril 2016, consulté le 2 janvier 2022).
2. La postface (后记) de l'original chinois indique également « les dirigeants de l'état chinois » comme initiateurs de la série (《中国科学技术通史》（五卷本）是由国家领导人提议).
3. Faussement translitéré comme « Liu Chun » (vol. 1, p. VI) et indiqué comme « chairman of the Confederation of International Science History and Philosophy » (vol. 1, p. 961).

pour chaque thème, que l'éditeur pense répondre aux besoins des experts et des amateurs qui cherchent à s'informer sur un thème spécifique sans devoir lire l'entièreté d'un livre qui couvre tous les sujets de manière exhaustive.

Titres des volumes en chinois (2016)	Titres indiqués dans le « General Catalogue » (vol. 1, pp. 957-960)	Titres indiqués dans le sommaire (vols. 1 & 2, p. II)	Titres des volumes traduits en anglais (2021)
源遠流長[4]	Rich Sources and Long Stream	Origins of Chinese Sciences	The Origins of Sciences in China
經天緯地[5]	Masters of Heaven and Earth	Ancient Chinese Studies of Heaven and Earth	The Studies of Heaven and Earth in Ancient China
正午時分[6]	At High Noon	High Tide of Chinese Sciences	The High Tide of Science and Technology Development in China
技進於道[7]	Technology and Philosophy of Tao	Theoretical and Technological Development	A New Phase of Systematic Development of Scientific Theories in China
舊命維新[8]	New Ideals of Ancient Philosophy	Western Influences	Western Influences in the History of Science and Technology in Modern China

La série consiste en cinq volumes, organisés en ordre quasi-chronologique, avec des titres dont les traductions ont dû évoluer au cours du projet éditorial (sans parler du numéro des pages). Il s'avère que les titres qu'on trouve pour les volumes eux-mêmes ne sont pas ceux qui sont mentionnés dans la table des matières de la série complète donnée au premier volume, ni ceux annoncés tout au début des deux premiers volumes analysés ici. Dans la table ci-dessus, on constate non seulement un passage de gauche à droite du sens plus littéral des titres vers des catégories plus explicites et probablement mieux adaptées à des

4. Lit. une origine profonde avec une continuité durable ; c'est une métaphore pour une chose qui, depuis son origine, n'a pas été cultivée et complètement formée du jour au lendemain.
5. Lit. les méridiens du ciel et les parallèles de la terre ; métaphore pour une personne de grande ambition, une personne d'un calibre rare et exceptionnel.
6. Lit. le moment de midi, du zénith.
7. Lit. le chemin du progrès technologique.
8. Lit. le passé/l'ancien qui commande le renouveau/la modernisation.

lecteurs non chinois, mais aussi un problème de cohérence au sein du projet éditorial dans son intégralité — nous ignorons le rôle de Springer dans l'affaire.

Le premier volume sur les origines des sciences couvre un vaste spectre de domaines dans lesquels d'importants écrits et objets archéologiques, issus de la Chine ancienne, attestent de grands « acquis » : l'astronomie (Jiang Xiaoyuan), les sciences et les techniques dans les différentes écoles de pensée (Dai Wusan), l'agriculture (Zeng Xiongsheng), les arts artisanaux dans le *Kaogong ji* (Dai Wusan), l'évolution des supports matériels pour les savoirs médicaux (Liao Yuqun) et mathématiques (Zou Dahai), le développement de la métrologie (Guan Zengjian), la pensée cosmologique (Niu Weixing), l'architecture (Fu Xinian), le concept d'angle et sa quantification (Guan Zengjian), la construction de bateaux (Xi Longfei & Shi Hequn), les techniques de fonte de bronze (Wang Lu & Mei Jianjun), l'intonation des cloches de Zenghouyi (Guan Zengjian), les méthodes de moulage sous la dynastie des Zhou (Tan Derui), l'alchimie (Meng Shaorong), et les *Neuf Chapitres sur les Arts Mathématiques* et leur commentateur Liu Hui (Guo Shuchun). Le volume est complété par une section de presque deux cents pages intitulée « Term Interpretation » 名词简释 (Sun Mengmeng) et une « chronologie d'événements majeurs en Chine et dans des pays occidentaux » 大事表' (Mao Dan) de 87 pages allant de l'an 9400 av. J.-C. jusqu'à 2000 et organisé selon le principe « *China first* » (vol. 1, p. 867). Il n'y a ni index ni bibliographie, mais, à la fin du premier volume, une demi-page de « *Further Readings* » contenant dix suggestions de lecture. Indiquée par nom d'auteur et titre en anglais, sans aucune autre information, il est impossible de deviner de quelle publication en langue chinoise il pourrait s'agir. Pour ce qui est de la section « *Term Interpretation* », elle est sous-divisée en plusieurs catégories, mais là aussi le lecteur n'est pas guidé par une indication des pages au sein desquelles il pourrait trouver respectivement des entrées suivant les catégories ouvrages, personnages, organisations, concepts, évènements, techniques, produits et instruments, et ingénierie. On ne reconnaît par ailleurs aucune logique d'organisation des entrées — un(e) sinologue soupçonnera toutefois que c'est l'ordre alphabétique en transcription *pinyin* du chinois qui compte, mais elle est évidemment invisible dans la traduction — ; il n'y a pas davantage de renvois entre les entrées de la section ou vers les chapitres pertinents. Prenons comme exemple l'entrée 34 dans la catégorie « *Concepts* » (vol. 1, p. 801) :

> « **34. Hou Qi (The Method of Forecasting Solar Terms in Ancient Times)**

> Hou Qi is the ancient way of divining the changes of the solar terms. Burn reed membranes into ash and put it in the pitch pipe. At a certain solar term, the ash could fly out of the pipe itself. People could forecast the changes in the solar terms according to it. It also refers to the ancient theory or experiment to attempt to combine Bells and Almanac together. Later it is borrowed by Chinese medicine. »

Comme tel, l'entrée est incompréhensible, mais si on cherche, on découvre qu'il existe, dans la même catégorie, l'entrée 15 qui explique au moins ce que sont les « 24 Solar Terms » en se référant à un certain calendrier, l'*Imperial Ultimate Calendar*, qui, lui, figure bel et bien parmi les entrées de la catégorie « Ouvrages », après l'entrée n°34, « *Huang Rong Jiao Yi* », et avant l'entrée n°36, « The Overview Map of the Imperial Territory ».

Le second volume, qui reste situé chronologiquement en Chine ancienne, commence directement par un premier chapitre sur l'observation astronomique et le calendrier écrit par l'éditeur même, à savoir Jiang Xiaoyuan, sans la moindre préface au volume qui expliquerait au lecteur les choix thématiques effectués ou qui soulignerait les nouveautés historiographiques présentes dans les différentes contributions dudit volume. Suivent treize autres chapitres sur l'astronomie, l'hydrologie, la géologie et la géographie, les propriétés du calendrier chinois (Niu Weixing), Liu Xin et la chronologie historique (Niu Weixing), les instruments de mesure du temps (Deng Kehui), les techniques de mesure en hydrologie (Zhou Kuiyi), Pan Jixun et la gestion de la Rivière Jaune (Zhou Kuiyi & Deng Jun), le concept de centre de la Terre (Guan Zengjian), le sismographe de Zhang Heng (Li Zhichao), les géosciences et les points de vue sur les catastrophes et anomalies géologiques (Wang Qianjin), réflexions sur la géographie mondiale et la géographie militaire (2 chapitres par Wang Qianjin), l'arpentage et le dessin de cartes (Wang Qianjin), le système d'irrigation de Dujiangyan (Tan Xuming), et les projets du Grand Canal et leurs réalisations (Li Yunpeng & Tan Xuming).

Seulement trois de ces quatorze chapitres du deuxième volume (contre 11 sur 16 dans le premier volume) contiennent, à la fin, une section « References » sans, d'ailleurs, qu'aucun auteur étranger n'y soit mentionné. Il y en aurait pourtant. Après plus de deux décennies de collaborations et d'organisation de conférences internationales, en particulier grâce à l'International Society for the History of East Asian Science Technology and Medicine fondée en 1990, on reste perplexe devant un projet d'écrire l'histoire des sciences uniquement par des Chinois et sans prise en compte ou mention des travaux étrangers. « Ce livre est une histoire générale des sciences et des technologies

écrite par les Chinois eux-mêmes » (本书是中国人自己撰写的科学技术通史) nous rappelle la maison d'édition de l'Université Jiaotong dans son texte de présentation figurant sur la couverture de la série. Que la recherche aujourd'hui ne puisse plus se faire à huis clos, mais profite des échanges, que ce soit au niveau des chercheurs ou des traducteurs, a déjà été la clef du projet de Needham. Celui-ci était aussi le résultat de collaborations avec des auteurs chinois et continue à l'être au sein du *Needham Research Institute* (NRI) de Cambridge en Angleterre[9].

Pour donner seulement un exemple montrant comment la prise en compte de travaux effectués en dehors des frontières de la Chine aurait pu éviter des erreurs, mentionnons le chapitre dix du premier volume : « The Angle Concept and Angle Measurement in Ancient China ». La discussion du concept d'angle venu d'Occident est basée entièrement sur un texte inclus dans une compilation effectuée sous le règne de Kangxi, l'*Essence des nombres et de leurs principes* (*Shuli jingyun* 數理精蘊, imprimé en 1722) qui contient, selon l'auteur, les *Éléments* d'Euclide, traduit en chinois en 1607 par Matteo Ricci et Xu Guangqi. Que les *Éléments* de 1722 ne soient pas ceux d'Euclide, mais bien la traduction des *Élements de Géometrie* d'Ignace Gaston Pardies est pourtant bien connu. La spécialiste des sciences mathématiques sous Kangxi, Catherine Jami, consacre deux chapitres entièrement à la question (Jami 2021, chap. 8 & 14)[10]. Comme Pardies est une version plus moderne contenant entre autres un concept quantitatif d'angle totalement absent de la pensée euclidienne, l'auteur du chapitre sur les concepts d'angle ne peut que mal interpréter les liens entre la pensée mathématique d'Euclide et celle de la Chine.

Cet exemple nous amène à un autre problème fondamental résultant de l'isolement dans lequel les présents volumes ont été produits à l'intérieur de la Chine : celui de la traduction. Depuis Needham, un grand nombre de travaux publiés en langue anglaise sur les sciences et les techniques en Chine ont contribué à établir une terminologie standard ou, au moins, une manière argumentée pour traduire des titres d'ouvrages, des nomenclatures, ou des termes techniques. Ici, d'autres choix ont été faits sans donner au lecteur les moyens de les comprendre. Le classique médical par exemple, le *Huangdi bashiyi nanjing* 皇帝八十一難經, généralement littéralement traduit comme *Yellow Emperor's Classic of 81 Difficult Issues* (ou : *81 Difficulties*) devient ici *The Yellow Emper-*

9. La présence de son directeur actuel, Mei Jianjun, parmi les auteurs renommés, n'a pas pu empêcher le lapsus de localiser le NRI à Oxford dans la Postface du vol. 1, p. 961.
10. Sans oublier d'autres travaux en chinois, comme, par exemple, un mémoire de Master (Zhang 2008).

or's Classic of 81 Adventures (vol. 1, p. 685). Il serait intéressant de connaître les raisons de cette nouvelle lecture qui change considérablement l'interprétation de la nature de l'ouvrage.

Le manque de traducteurs de langue maternelle anglaise dans l'équipe de traducteurs chinois est aussi évident et devient presque amusant quand on tombe sur des « *seismic scholars* » (vol. 2, p. 287) ou des manuscrits trouvés lors de fouilles archéologiques qui ont été « *evacuated* » au lieu de « *excavated* » (vol. 1, chap. 6). On constate aussi que beaucoup d'expressions sont données en transcription phonétique *pinyin*[11], mais qu'elles restent souvent sans traduction et même sans explication[12]. Dans les rares références bibliographiques par contre, les titres des articles ou ouvrages en langue chinoise sont systématiquement traduits en anglais sans leur correspondance en caractère chinois, ce qui rend leur identification presque impossible[13]. Pour compliquer le tout, les prénoms des auteurs en *pinyin* sont généralement abrégés ou, pire encore, c'est le prénom qui est donné en entier alors que le nom est seulement indiqué par son initiale[14].

D'autres imprécisions sont certainement aussi dues à un travail éditorial négligé, noyé dans la masse des détails à vérifier, à coordonner, et à accomplir dans les temps — le volume 2 a été traduit au bout d'un an et demi selon la postface des traducteurs (vol. 2, p. 521) sans prendre soin d'harmoniser les contributions ou de réfléchir aux adaptations nécessaires pour les besoins d'un public occidental. Il est regrettable qu'on ne puisse même plus apprécier la nature académique des quelques articles qui se distinguaient par une grande qualité dans leur version originale. C'est par exemple le cas du chapitre de Zou Dahai (vol. 1, chap. 6) qui, selon les standards académiques, donne des références abondantes et précises et discute des points de vue d'autres auteurs dans les notes. Le choix

11. Sans pour autant suivre les standards de translitération, voir par exemple : *Lv li Zhi* (vol. 1, p. 461) ou *lv lv jing yi* (vol. 1, p. 469).
12. Voir par exemple la phrase « In *Neye*, the *jing* of *youjing* is interpreted as "the vital essence" » (vol. 1, p. 86) ou encore l'entrée pour 1845 dans la Chronologie (vol. 1, p. 917) : « Li Shanlan wrote 13 kinds, 24 volumes of *Ze Gu Xi Zhai Reckoning* and one volume of *Kao Shu Gen Fa*, invented the quadrature of Jianzhui Shu, ... ».
13. Pour une référence du type « Chen, F. (2011). The preliminary exploration of the different translations and fates of "elements" in different civilizations. In Bureau of Culture in Xuhui District (Ed.), Xu Guangqi and Elements (1st ed., pp. 81–98). Shanghai : Shanghai Jiao Tong University Press. » (vol. 1, p. 346), j'ai pu seulement deviner qu'il pourrait s'agir de CHEN Fangzheng 陈方正, qui a publié en 2008 un article sous un titre probablement identique, voir (Chen 2008).
14. L'historien des mathématiques QIAN Baocong 钱宝琮 par exemple est référencé uniquement comme « Baocong, Q. » (vol. 1, p. 346).

éditorial, pour la traduction, de n'inclure aucun caractère chinois et de ne pas avoir recours à des notes de bas de page, mais de les insérer de manière abrégée entre parenthèses dans le texte courant rend, combiné avec tous les problèmes linguistiques, la présente version anglaise simplement illisible et inutilisable comme ouvrage de référence et met en mauvaise lumière ceux qui, dans leur domaine en Chine, sont considérés comme des « *top-notch scholars* » (deuxième de couverture, vols. 1 & 2). Même si la série avait été préparée avec plus de soins, il n'en reste pas moins qu'elle doit être lue et comprise comme le reflet d'un programme historiographique politiquement défini : démontrer — tout seul — la grandeur du passé scientifique et technique chinois. On a bel et bien là une réaction nationaliste à la fameuse question eurocentrique que Needham a posée — pourquoi la révolution scientifique n'a-t-elle pas eu lieu en Chine, mais seulement en Europe ? — réaction qui complète l'héritage intellectuel de Needham par des vues de l'intérieur de la Chine[15].

Bibliographie

Jami, C. (2012). *The Emperor's New Mathematics* Chapter 14. Cambridge University Press.

Chen Fangzheng 陳方正 (2008). *Jihe yuanben* zai butong wenming zhi fanyi ji mingyun chutan 《幾何原本》在不同文明之翻譯及命運初探 (A Study of the Translation and Fate of the *Elements* in Different Civilizations). *Zhongguo wenhua yanjiusuo xuebao*《中國文化研究所學報》 (*Journal of Chinese Studies*) 48, 193-209.

Hsia, F., & Schäfer, D. (2019). History of science, technology, and medicine : a second look at Joseph Needham. *Isis*, 110(1), 94-99.

Hsia, F., & Schäfer, D. (2019). Introduction. *Technology and Culture*, 60(2), 554-561.

Mei, J. (2020). Introduction : Needham's intellectual heritage. *Cultures of Science* 3(1/2), 1-7.

Zhang Meiling 張美玲 (2008). 《數理精蘊》中的《幾何原本》 (Les *Eléments de géométrie* dans l'*Essence des nombres et de leurs principes*), thèse de Master sous la direction de Horng Wann-sheng 洪萬生, National Taiwan Normal University 國立臺灣師範大學.

15. Plusieurs publications récentes ont dressé l'état de l'art de l'héritage des travaux de Needham, voir les onze articles introduits dans Hsia & Schaefer (2019[a] et 2019[b]) et l'introduction à d'autres dix articles dans Mei (2020).

Revue des Questions Scientifiques, 2022, 193 (1-2) : 165-177

Analyse critique

Copernic et Galilée en tant que lecteurs de Platon

Maurice A. Finocchiaro
Department of Philosophy
University of Nevada-Las Vegas
maurice.finocchiaro@unlv.edu

Traduit de l'américain par
Charlotte Vyt
Université de Namur
charlotte.vyt@unamur.be

De Pace (Anna), *Galileo lettore di Copernico*. – Firenze : Olschki, 2020. – xlii, 638 p. – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 50,00 €. – isbn 978-8822267115.

1. Introduction

Il n'est évidemment pas nécessaire de présenter Copernic. Ni Galilée. Ni leur relation. Ce n'est pas pour autant que ces trois sujets ne méritent pas d'être étudiés. Au contraire ! Ceux-ci valent toujours la peine d'être étudiés parce qu'il n'y a pas de fin aux leçons fondamentales et nuancées que l'on peut en tirer ; telle est l'ampleur et l'importance de ces deux penseurs. Cette seule considération suffit pour souhaiter la bienvenue à ce nouveau livre.

Ajoutons à cela le fait que son auteure a déjà contribué aux études sur ces sujets et sur des sujets connexes, et que ses contributions se distinguent de par leur originalité et leur perspicacité (De Pace, 2009 & 2017). Ce facteur additionnel nous donne envie de prêter même davantage attention à ce livre.

Troisièmement, et pour finir, en anticipant quelque chose qui émergera au long de ma critique — c'est-à-dire, en donnant une tournure positive à l'une de mes critiques —, il s'avère que le livre traite également d'un autre sujet dont l'importance classique est certainement comparable à celles mentionnées dans le titre du livre ; à savoir, Platon, le lien étant le thème des éléments platoniciens de la pensée de Copernic et Galilée.

Mon plan consiste à commencer en donnant un compte rendu du livre chapitre par chapitre ; le résultat sera relativement long, mais il permettra le développement d'un résumé relativement neutre du livre. Ce résumé apportera ensuite une bonne base pour une évaluation concise et relativement critique de l'ouvrage.

2. Résumé

« Introduction ». — Il s'agit d'un aperçu des thèmes principaux du livre, à côté de ceux mentionnés dans le titre. Parmi ces sujets supplémentaires, on retrouve : Platon et les aspects platoniques de la pensée de Copernic et de Galilée ; le raisonnement, l'argumentation et la philosophie qui sont caractéristiques autant de la pensée de Copernic que de Galilée ; et les nombreuses difficultés stylistiques qui rendent l'écriture de Copernic difficile à comprendre et que Galilée a su dépasser.

Chap. 1 : « Le décret copernicien de 1616 : une défaite pour Galilée ». — Le sujet principal de ce chapitre concerne le décret de la Congrégation de l'Index de 1616 qui condamne la doctrine du *mouvement* de la Terre comme scientifiquement fausse et théologiquement contraire à l'Écriture et en suspend le *De Revolutionibus* de Copernic jusqu'à ce qu'il soit convenablement « corrigé ». Le sujet le plus important concerne le décret de l'Index qui est plus tardif, à propos des « corrections » apportées au livre de Copernic. L'auteure soutient de manière plausible que, bien que ce décret soit officiellement daté de 1620, il n'a probablement pas été publié avant 1624. Le décret de 1616 avait été immédiatement critiqué par Kepler, et la critique de celui-ci avait, à son tour, été critiquée par Francesco Ingoli. Ce dernier était un théologien qui, en 1616, avait écrit une *Disputation sur le mouvement de la Terre* anticopernicienne qui avait influencé le décret de l'Index de la même année. Ingoli était également l'auteur des « corrections » à Copernic contenues dans le second décret. De Pace soutient que Galilée n'a probablement pris connaissance de la *Disputation*

d'Ingoli que plusieurs années plus tard, mais qu'il a probablement eu connaissance de la critique de Kepler par Ingoli relativement rapidement.

Chap. 2 : « La controverse des comètes et le "désir" d'un nouveau système du monde. — La controverse en question est celle suscitée par l'apparition de quelques comètes en 1618. Cette controverse implique principalement Galilée et le jésuite Orazio Grassi. Plusieurs ouvrages ont été publiés, dont *L'Essayeur* de Galilée (1623). De Pace se concentre sur les arguments pour et contre une interprétation des comètes en accord avec le système de Tycho Brahe, pour qui les planètes tournaient autour du soleil alors que tout le système solaire tournait quotidiennement et annuellement autour de la terre immobile au centre. Elle juge de manière plausible que les arguments de Galilée contre l'interprétation tychonique sont généralement valables. De plus, elle dépeint avec perspicacité Galilée. En effet, celui-ci est dans une position délicate et évite d'être trop direct ou explicite sur le fait que de tels arguments antitychonique sont également procopernicien.

Chap. 3 : « Reprise du travail De Systemate Mundi ». — L'auteure prétend que dans la période de 1616 à 1624, Galilée a travaillé de façon intense sur son livre sur le système du monde, et dans une certaine mesure l'a écrit, tout en ayant écrit et publié *L'Essayeur* en même temps. Cependant, De Pace ne présente aucune preuve concluante pour soutenir cette affirmation. Ses preuves consistent essentiellement à faire intervenir certaines déclarations dans les correspondances de Galilée de l'époque. Mais ces preuves indiquent seulement que Galilée était intéressé à écrire sur le système du monde ; qu'il était conscient de l'importance de publier de tels écrits ; et qu'il était également conscient des difficultés découlant du décret de l'Index de 1616 et de l'opposition ecclésiastique continue au copernicisme.

Chap. 4 : « La genèse de la Lettre à Ingoli ». — Il s'agit d'une discussion floue à propos de la situation en 1623-1625 qui est principalement basée sur des correspondances. Galilée a effectivement écrit sa « Réponse à Ingoli » durant cette période, mais cela est bien connu.

Chap. 5 : « Galilée et la tridimensionnalité en tant que premier principe architectonique de l'univers copernicien ». — De Pace analyse l'argument de Galilée au début du *Dialogue sur les deux principaux systèmes du monde, ptolémaïque et copernicien* (1632). Dans son analyse, la tridimensionnalité sape des principes aristotéliciens traditionnels tels que la possibilité de savoir si l'univers est fini ou infini, la dichotomie terre-ciel, la réalité de la sphère céleste et les mouvements naturels distincts des corps lourds, légers et éthérés. Bien qu'il n'y

ait aucun doute sur le fait que Copernic et Galilée aient rejeté ces idées aristotéliciennes, leur lien avec la tridimensionnalité ne m'apparait pas clairement.

Chap. 6 : « L'ignorance des limites de l'univers selon Copernic ». — Il s'agit d'une analyse du premier livre du *De Revolutionibus* de Copernic. Il y critique les arguments aristotéliciens en faveur du géocentrisme tout en avançant ses propres arguments en faveur du mouvement de la Terre. Il met l'accent sur la notion de mouvement circulaire naturel et sur la question de savoir s'il est possible pour la sphère céleste d'exister, de tourner et d'avoir un emplacement. De Pace attribue à Copernic la méthode de « l'*elenchus* socratique ». D'un autre côté, elle qualifie à plusieurs reprises son exposé de cryptique et d'obscur. Par exemple, « Copernic — et Galilée le perçoit bien — n'est pas une personne de beaucoup de mots et d'explications » (p. 126)[1] ; et « ce raisonnement de Copernic est quelque peu elliptique — mais c'est une caractéristique de son *usus scribendi* » (p. 127 ; cf. pp. 142, xii-xiii).

Chap. 7 : « La compréhension des arguments coperniciens par Ingoli et par Galilée ». — L'auteure soutient qu'Ingoli a mal compris les arguments coperniciens, comme le montre sa *Disputation*. En revanche, Galilée les a bien compris et les a développés, comme on peut le voir dans sa « Réponse à Ingoli » et dans son *Dialogue*. De Pace se concentre ici sur des arguments astronomiques impliquant des questions telles que la visibilité d'une moitié de la sphère stellaire, la distance et la taille apparente d'étoiles fixes, et la parallaxe annuelle des étoiles fixes. Par ailleurs, De Pace attribue à nouveau la méthode de « l'*elenchus* socratique » à Galilée tout en soulignant que l'exposé de Copernic lui-même est cryptique et obscur, surtout dans le premier livre du *De Revolutionibus*.

Chap. 8 : « L'harmonie dans l'immense univers copernicien ». — L'auteure reconstruit l'argument de Copernic à propos de la révolution orbitale annuelle de la terre comme étant basé sur les prémisses suivantes : l'harmonie de l'univers dans la mesure où celle-ci découle de Dieu ; et le principe selon lequel, dans un système de plusieurs corps tournant autour d'un centre commun, plus la taille de l'orbite est grande, plus la période de *révolution* est longue. Elle souligne que l'esquisse qualitative de base de cet argument se trouve au chapitre 10 du premier livre du *De Revolutionibus*, et que les détails quantitatifs se trouvent dans le reste de l'ouvrage (livres II-VI). De plus, poursuivant son thème platonicien, De Pace interprète l'argument comme étant conforme à la méthode dialec-

1. Ici et dans le reste de cet essai, les références aux pages du *Galileo lettore di Copernico* de De Pace sont données en mentionnant simplement le(s) numéro(s) de page entre parenthèses, comme ici.

tique socratico-platonicienne, prétendument décrite dans la *République* de Platon, et prétendument porteuse de certitudes. Cet exposé d'une telle méthode est le plus souvent inintelligible. Et même si la méthode était compréhensible, elle n'apporterait pas pour autant de certitudes. L'auteure tente de clarifier la méthode en se référant à la méthode analytico-synthétique en mathématiques ; cela est utile, mais la question de la certitude demeure néanmoins.

Chap. 9 : « Le ciel étoilé de Copernic, lieu de l'univers ». — De Pace discute les perspectives de Copernic à propos de la sphère stellaire : sa nature incorporelle, son immobilité, sa localisation et sa taille. Elle se concentre sur la similitude entre ces perspectives coperniciennes et celles du philosophe platonicien Simplicius dans ses commentaires critiques sur l'astronomie, la physique et la métaphysique d'Aristote. Elle considère cette similitude comme une preuve selon laquelle Copernic aurait probablement été influencé par les travaux de Simplicius. Son exposé des perspectives de Simplicius et d'autres précurseurs de Copernic est difficile à suivre, non seulement en raison des nombreux termes techniques utilisés, mais aussi parce qu'il est entrecoupé de mots et de phrases en grec des auteurs concernés.

Chap. 10 : « L'admirable symétrie du monde dans les récits d'Ingoli et de Galilée ». — Il s'agit d'une élaboration de ce que l'on peut appeler l'argument de la simplicité du mouvement de la terre, basé essentiellement sur l'héliocentrisme des mouvements planétaires. Le principal texte copernicien est le chapitre 10 du premier livre du *De Revolutionibus*. Sans surprises, De Pace souligne les erreurs d'Ingoli dans sa compréhension de l'argument de Copernic. Elle montre également que Galilée a compris et développé l'argument, en utilisant à la fois sa « Réponse à Ingoli » et son *Dialogue*. L'un des points clés consiste à dire que l'argument copernico-galiléen réfute non seulement Ptolémée, mais aussi Tycho ; ce qui est, bien sûr, à la fois important et correct. Cependant, elle est quelque peu ambiguë et ne semble pas pouvoir dire si cet argument est concluant et démonstratif, ou tout simplement fort, bon et probable. Elle souligne la nature réaliste et anti-instrumentaliste de l'argument, mais a tendance à l'interpréter comme étant concluant et nécessaire. Enfin, comme d'habitude, De Pace affirme que cet argument est platonicien, car Platon et Copernic pensaient tous deux à une origine théologique pour l'harmonie et la simplicité.

Chap. 11 : « Le chemin descendant de Galilée des principes aux divers phénomènes ». — Il s'agit d'un résumé sommaire des arguments de Galilée, en partant du principe du mouvement de la terre pour arriver à diverses conclusions sur le mouvement planétaire rétrograde, les phases de Vénus, les changements de taille apparente de Vénus et de Mars, les changements annuels dans le mou-

vement des taches solaires, les changements saisonniers dans la durée de la nuit et du jour sur terre, les marées et les alizés. L'auteure tente d'interpréter ces arguments comme étant la deuxième partie de l'*elenchus* platonicien, comme correspondant à la méthode argumentative propre à Copernic, et comme étant en accord avec le principe de simplicité ainsi qu'avec celui de la création divine.

Chap. 12 : « La physique copernicienne ». — Selon l'auteure, la physique de Copernic est constituée des principes suivants : le mouvement circulaire uniforme est naturel dans tout l'univers ; le mouvement circulaire pérenne est propice à l'ordre universel et à la création divine ; la gravité est la tendance de tous les corps à être ou à se déplacer vers le tout dont ils font partie, et cela s'applique dans tout l'univers ; en fait, il n'y a pas de sphère stellaire réelle, pas de dichotomie terre-ciel, pas de dichotomie universelle entre le haut et le bas, et pas de propriété intrinsèque de légèreté. L'auteure soutient que tous ces principes ont été fondamentalement dérivés par Copernic de Platon (*République*, *Timée* et *Phédon*) et du philosophe platonicien Plutarque de Chéronée.

Chap. 13 : « Ingoli et Galilée comme interprètes de la physique copernicienne ». — De Pace soutient que, comme nous l'avons déjà vu à propos d'autres aspects du copernicanisme, Ingoli n'a pas vraiment compris la physique de Copernic. En revanche, Galilée l'a non seulement bien comprise, mais il a également entrepris un travail de « développement et de clarification » (p. 317) ; et ceci même si nous nous limitons au premier jour du *Dialogue*, et ne prenons pas en compte le deuxième jour ou les *Deux nouvelles sciences*.

Chap. 14 : « Galilée au-delà de Copernic ». — De Pace examine certaines façons selon lesquelles Galilée a développé une physique allant au-delà de Copernic, en se concentrant sur une section spécifique au début du premier jour du *Dialogue*. Galilée y discute des aspects de la physique de la chute des corps tels que la règle de la double distance ; la continuité de l'accélération ; comment l'accélération est plus grande le long de la verticale que le long des plans inclinés ; et comment la vitesse finale acquise à partir d'une hauteur donnée est la même, même si les chemins diffèrent. De Pace examine également l'expérience de pensée qui consiste à laisser tomber un corps dans un tunnel vertical allant vers et au-delà du centre de la Terre ; Copernic n'y avait pas pensé, mais Galilée en parle à plusieurs endroits, et même Plutarque l'avait mentionnée. Cette expérience est importante, car elle suggère de manière frappante que certaines modifications de la physique de Copernic sont nécessaires. Parmi les modifications galiléennes, De Pace mentionne l'idée du mouvement inertiel, ou mouvement « neutre », qui ne se rapproche ni ne s'éloigne d'un centre d'attraction ; l'idée du repos comme équivalent au mouvement inertiel ou « neutre » ; la

distinction entre la relativité optique et la relativité mécanique du mouvement ; et le principe de la conservation du mouvement. Le chapitre est rempli de références (favorables) à Maurice Clavelin (1996).

Chap. 15 : « La dérivation platonicienne de la cosmogonie de Galilée et le perfectionnement du cosmos copernicien ». — De Pace se concentre sur la critique que porte Galilée à l'égard de l' « animisme » de Copernic, c'est-à-dire à l'égard de la croyance selon laquelle les planètes sont mues par leur « âme ». Tycho et Kepler l'avaient critiqué. La critique de Galilée s'articule autour de l'adoption d'une idée qu'il qualifie explicitement de platonicienne. Il s'agit de l'hypothèse cosmologique selon laquelle le système solaire est né du fait que Dieu a créé chaque planète à la même distance du soleil et l'a ensuite laissé tomber avec un mouvement accéléré jusqu'à atteindre l'orbite héliocentrique qu'elle a maintenant. Le mouvement rectiligne accéléré a été alors converti en un mouvement circulaire uniforme. Dans cette conception, Galilée utilisait également sa propre physique de la chute des corps, la vitesse de chute étant proportionnelle au temps écoulé, par exemple. Cependant, l'interaction de Galilée avec son collègue universitaire Paolo Beni, un ancien jésuite qui enseignait les sciences humaines à Padoue, a constitué un stimulus crucial ; Beni a conçu une version de la cosmogonie platonicienne que Galilée a élaborée dans la première journée du *Dialogue*.

Chap. 16 : « Rotation terrestre et expérience chez quelques lecteurs de Copernic ». — L'auteure se concentre ici sur plusieurs arguments contre la rotation axiale de la terre, basés sur des observations communes : des corps tombant librement à la verticale, des coups de feu vers l'est et vers l'ouest, des coups de feu vers le haut à la verticale, et des animaux se déplaçant par eux-mêmes. En ce qui concerne le côté anticopernicien, elle discute les travaux de Tycho, de Christoph Scheiner, de Johann Locher, et de Scipione Chiaramonti. Du côté des procoperniciens, elle examine non seulement Galilée, mais aussi Pedro Nunes, Christoph Rothmann et Paolo Foscarini. Comme d'habitude, elle souligne que les critiques ont mal compris Copernic, alors que les partisans l'ont compris correctement ; cela est particulièrement vrai dans le cas de Galilée, qui avait entrepris une « lecture attentive et scrupuleuse du texte copernicien » (p. 405).

Chap. 17 : « Le navire et les déductions en faveur de Copernic ». — D'une part, l'auteure discute l'objection anticopernicienne basée sur l'expérience consistant à laisser tomber une pierre du haut du mât d'un navire. D'autre part, elle discute l'objection basée sur le vol des oiseaux. Ce qui est également une discussion à propos de diverses observations qui soutiennent le principe de la

conservation du mouvement, c'est-à-dire à propos des observations impliquant le mouvement de coups de feu dans diverses directions, et les résultats d'une expérience cruciale sous le pont d'un navire. De Pace souligne la différence entre le principe de conservation de Copernic et celui de Galilée : Copernic se référait au mouvement circulaire naturel, tandis que Galilée se référait à tout mouvement acquis, libre de toute interférence extérieure.

Chap. 18 : « Les opinions de trois coperniciens : Rheticus, Kepler, Rothmann ». — L'auteure discute les opinions de ces trois auteurs concernant la question de savoir si les orbes célestes sont physiquement réels et si la réalisation de Copernic était hypothétique dans un sens instrumentaliste ou dans un sens explicatif. Ils interprètent Copernic comme rejetant la réalité physique des orbes, et comme défendant le statut hypothético-explicatif de ses propres théories. Dans ce chapitre (pp. 471-472), nous trouvons également une discussion de l'importante distinction faite par Kepler entre trois significations du terme « hypothèse » : l'une correspond aux axiomes d'Euclide en géométrie ; une deuxième aux postulats d'Euclide ; et une troisième aux hypothèses fausses qui impliquent des faits vrais.

Chap. 19 : « Vraies excentriques et épicycles : la réponse de Galilée à Cesi, Clavius et Bellarmin ». — Il s'agit d'une analyse de la critique par Galilée de certains écrits de Federico Cesi, Christoph Clavius et Robert Bellarmin. Le sujet principal de ce chapitre est de savoir si les orbes célestes solides ont un rôle à jouer dans la théorisation astronomique. Les principaux écrits examinés sont : une partie de la correspondance entre Cesi et Galilée, ainsi que le *De caeli unitate* non publié de Cesi ; le *Commentaire sur la sphère de Sacrobosco* de Clavius ; les *Conférences de Louvain* de Bellarmin et sa lettre d'avril 1615 à Foscarini ; et les « Considérations sur l'opinion copernicienne » de Galilée. De Pace soutient que, dans l'ensemble, Galilée suivait Copernic en rejetant l'existence des orbes célestes solides. Un autre thème de ce chapitre est de savoir si les excentriques et les épicycles doivent être interprétés de manière réaliste ou instrumentale, et il est clair que, sur ce point, Galilée adopte une position réaliste. La façon dont ce thème est lié à la question de l'existence des orbes n'est pas claire ; mais peut-être le lien est que le réalisme de Galilée sur les excentriques et les épicycles renforce le rejet des orbes solides.

Chap. 20 : « Deux thèmes coperniciens en conflit avec les orbes solides ». — Le premier de ces thèmes concerne la conception de Copernic de la gravité en tant que tendance des parties à se déplacer vers et à se rassembler au centre de leur ensemble, plutôt que la tendance de tous les corps matériels à se déplacer vers le centre de tout (l'univers). Cette conception copernicienne se retrouve

dans la « Réponse à Ingoli » de Galilée, et prétendument aussi dans le *Phédon* de Platon. Le deuxième thème concerne l'idée selon laquelle le mouvement circulaire uniforme est naturel, non causé et conservé. Ce thème est développé en analysant les parties pertinentes de la *Lettre sur l'opinion copernicienne* de Foscarini.

Chap. 21 : « La question du troisième mouvement de la terre ». — L'auteure aborde ici le problème du troisième mouvement que Copernic attribuait à la terre, en plus de la rotation axiale quotidienne et de la révolution héliocentrique annuelle ; ce troisième mouvement serait une précession de l'axe terrestre une fois par an d'est en ouest. Copernic pensait que cette précession était nécessaire pour expliquer pourquoi l'axe de la terre reste toujours parallèle à lui-même. Galilée critiqua Copernic en soutenant que son affirmation impliquait une confusion entre l'apparence et la réalité, et que le parallélisme constant de l'axe terrestre était en réalité une instance de repos. En outre, Galilée souligna qu'un tel troisième mouvement aurait violé la symétrie de l'univers copernicien selon laquelle tous les mouvements circulaires naturels sont dans la même direction (ouest vers est). De Pace tient à souligner que ni les raisons de Copernic ni la critique de Galilée à l'égard du troisième mouvement de la terre n'ont de rapport avec les orbes célestes solides. Un tel lien est la question la plus fréquemment soulevée par de nombreux autres auteurs ; l'axe de la terre devrait connaître annuellement un mouvement de précession d'est en ouest si la terre était rigidement attachée à une sphère solide dont la rotation annuelle d'ouest en est générait la révolution héliocentrique annuelle de la terre d'ouest en est. Elle souligne également que la critique de Galilée était très respectueuse à l'égard de Copernic, par exemple en ne mentionnant pas son nom dans de nombreux passages critiques et en interprétant son erreur en termes d'apparence par rapport à la réalité.

3. Évaluation

Mes sentiments à l'égard de ce livre sont mitigés, voire très mitigés. Tout d'abord, le livre fait preuve d'une argumentation intense et sophistiquée, tant dans l'exposition des textes examinés que dans l'évaluation que De Pace établit à propos des différents auteurs primaires et secondaires qu'elle discute. Cette approche est une approche qui convient à une philosophe ; de plus, je la trouve à la fois rafraîchissante et précieuse d'autant plus que ce type d'approche axée sur l'argumentation est rare dans l'analyse des textes scientifiques ; et certains des arguments de l'auteure sont effectivement perspicaces.

Par ailleurs, de nombreux arguments de De Pace — ses interprétations textuelles, ainsi que ses évaluations positives et ses critiques négatives — présentent souvent des défaillances en termes de verbosité, d'obscurité, de complexités inutiles, d'obscurcissements, de confusions et d'exagérations. Elle a, par exemple, tendance à exagérer la force des arguments de Copernic, l'ampleur de l'approbation de ces arguments par Galilée et l'incompréhension des anticoperniciens à leur égard. De plus, en parlant constamment de la « réfutation » par Copernic et Galilée des arguments aristotéliciens et ptolémaïques, son analyse tend à confondre plusieurs types de réfutation : falsification des prémisses, invalidation de l'inférence des prémisses à la conclusion, falsification de la conclusion, et *reductio ad absurdum*[2]. De plus, dans la présentation de ses propres arguments et dans l'analyse de ceux des autres (Copernic, Galilée, Platon, d'autres savants, etc.), il y a un obscurcissement considérable dans la mesure où elle ne distingue pas et ne met pas en relation de manière claire et adéquate des concepts tels que : validité formelle *vs* solidité substantielle, caractère concluant *vs* force, certitude *vs* probabilité, vérité nécessaire *vs* contingente, et raisonnement déductif *vs* inductif.

Deuxièmement, l'un des mérites du livre est l'érudition de l'auteure. Je n'ai pas pu m'empêcher d'être favorablement impressionné par le fait que la moitié inférieure de presque chaque page est constituée de notes de bas de page : non seulement de références bibliographiques habituelles, mais aussi de textes latins originaux des passages traduits en italien dans l'exposé principal, et les textes italiens complets des passages qui ne sont que paraphrasés ou partiellement cités dans l'exposé. En outre, et de manière plus significative, de nombreuses notes de bas de page contiennent de longs essais dans lesquels l'auteure élabore et défend la base bibliographique des interprétations et des jugements avancés dans son exposition principale. Il ne serait pas exagéré de dire que cet ouvrage contient deux livres : un exposé synthétique des thèses et des arguments de l'auteure (dans la moitié supérieure des différentes pages), et une critique érudite de la littérature primaire et secondaire (dans la moitié inférieure).

Toutefois, ce mérite du livre présente également des inconvénients. L'un d'eux est que cela distrait le lecteur (consciencieux), même si, bien sûr, on peut rapidement apprendre à ignorer les nombreuses notes de bas de page. Un autre inconvénient est qu'une telle érudition est souvent le signe d'une maîtrise mal

2. Pour plus de détails sur ces distinctions cruciales, tant en général que dans le cas de Galilée, voir Finocchiaro, 1974 ; 1980, pp. 311-431 ; 1997, pp. 309-335 ; 2005, pp. 109-147 ; 2010, pp. xiii-xliii ; 2013, pp. 18-33 et pp. 219-241 ; 2014, pp. 55-68 ; et 2019, pp. 225-248.

digérée de la matière par l'auteur. Un troisième inconvénient est que ces notes de bas de page sont souvent des exemples de belles paroles adressées à des auteurs préférés, ou des réitérations de rejets d'auteurs défavorisés.

Ensuite, une autre caractéristique (qui est également à double sens) du livre est son style, d'un point de vue linguistique, littéraire, expressif et esthétique. Ce que je veux dire, c'est que le livre est intéressant à lire et qu'il n'est pas du tout ennuyeux, terne ou fastidieux. Je fais référence à des éléments tels que le choix des mots de l'auteure, les expressions descriptives et la construction des phrases. Cette caractéristique est particulièrement appropriée dans le contexte d'un ouvrage sur le développement des idées coperniciennes par Galilée, qui était un maître dans l'art d'écrire, comme le montre le *Dialogue*.

Malheureusement, cet aspect du présent ouvrage présente aussi une autre facette pleine d'inconvénients. Le plus problématique est l'utilisation de phrases extrêmement longues, les plus courantes étant d'une dizaine de lignes, et certaines allant jusqu'à quinze lignes. De telles phrases sont très difficiles à comprendre et défient même le lecteur le mieux préparé et le mieux intentionné. Un autre inconvénient fréquent est le penchant de l'auteure à désigner les nombreux auteurs ou entités dont il est question, non pas par leur nom propre principal, mais plutôt par le nom de leur lieu de naissance, leur position professionnelle, leur employeur ou leur surnom. Cela ne pose aucune difficulté dans le cas d'auteurs tels que Galilée, Copernic, Kepler, Platon, Aristote et Ptolémée. En revanche, le manque de convivialité devient insupportable lorsque De Pace désigne Plutarque comme celui de Chéronée (p. 277), Simplicius comme le philosophe de Cilicie (p. 297), Clavius comme le mathématicien de Bamberg (p. 499), Rothmann comme le mathématicien de Kassel (p. 463), le Soleil comme l'étoile Phoebus (p. 569) et l'Université de Padoue comme Bo (p. 368). Ces inconvénients, et d'autres encore, rendent ce livre généralement extrêmement difficile à comprendre et pour beaucoup, ces inconvénients seront rédhibitoires.

Enfin, et surtout, la richesse du contenu du livre est évidente à partir de l'esquisse établie ci-dessus de ses chapitres. On ne peut nier qu'un contenu aussi varié et impressionnant ajoute à la valeur du livre. Cependant, le revers de la médaille est la question de savoir s'il existe finalement une unité cohérente entre tous ces sujets.

Le titre du livre suggère certainement une unité possible. Une thèse centrale est certainement que Galilée était un lecteur perspicace, intelligent et original de Copernic. Certes, il n'était pas le seul lecteur de ce genre ; il y en

avait d'autres comme Rheticus, Rothmann et Kepler. Mais Galilée a sans doute été le plus perspicace. En outre, de nombreux lecteurs de Copernic n'ont pas réussi à le comprendre, comme Ingoli, Tycho et Scheiner. Il est clair que le livre comporte de nombreuses discussions de fond sur cet autre groupe de lecteurs. Cependant, même si nous ajoutons à Galilée ces autres bons et mauvais lecteurs de Copernic, ce thème ne semble pas rendre pleinement justice à la richesse du contenu du livre.

Pour ce faire, nous devons nous rappeler que De Pace ne cesse de souligner les aspects platoniciens de la pensée de Copernic et de Galilée. Certes, Copernic était vraisemblablement un lecteur plus sérieux et plus assidu des œuvres de Platon lui-même, ainsi que des penseurs platoniciens tels que Plutarque et Simplicius. Toutefois, en ce qui concerne Galilée, il existe des preuves directes et explicites de l'influence platonicienne (par exemple, l'hypothèse cosmogonique), ainsi que des preuves indirectes découlant de ses lectures de Copernic. Ainsi, le thème principal du livre, et un thème global, serait plutôt : Copernic et Galilée en tant que lecteurs de Platon. Sa thèse principale pourrait alors être formulée comme l'affirmation que la philosophie naturelle de Copernic et de Galilée présente des aspects platoniciens significatifs. Et, d'une manière générale, cette thèse présente une certaine nouveauté, par rapport à l'interprétation traditionnelle de Koyré (1943 & 1966) par exemple ; et elle a une certaine plausibilité.

Cependant, si nous voulions être plus précis, nous rencontrerions des difficultés. Par exemple, il est évident que pour De Pace un aspect platonicien important de la pensée de Copernic et de Galilée était prétendument leur méthode d'argumentation, pour laquelle elle utilise des étiquettes telles que l'*elenchus* platonicien et la dialectique ; mais ces notions ne sont jamais définies et clarifiées de manière adéquate. Il est également évident que le prétendu platonisme de Copernic et de Galilée a un aspect substantiel ou cosmologique, constitué d'idées telles que le mouvement circulaire naturel, la gravité en tant que relation localisée entre une partie et un tout, et l'harmonie et la symétrie universelles d'origine divine ; mais ici la principale difficulté est que ces correspondances ne sont pas démontrées de manière claire, concrète ou convaincante.

4. Bibliographie

Clavelin, M. (1996). *La philosophie naturelle de Galilée*. Paris : Albin Michel. Édit. orig. : 1968.

De Pace, A. (2009). *Niccolò Copernico e la fondazione del cosmo eliocentrico*, con testo, traduzione, e commentario del Libro I de *Le rivoluzioni celesti*. Milan : Bruno Mondadori.

De Pace, A. (2017). Copernicus as a Logician, Natural Philosopher and Humanist : A Discussion on Lerner's Interpretation. *Giornale critico della filosofia italiana*, année 96, séries 7, volume 13(1), 114-64.

Finocchiaro, M. (1974). Galileo as a Logician. *Physis : Rivista Internazionale di Storia della Scienza*, 16, 129-148.

Finocchiaro, M. (1980). *Galileo and the Art of Reasoning : Rhetorical Foundations of Logic and Scientific Method*. Dordrecht : Reidel.

Finocchiaro, M. (1997). *Galileo on the World Systems*. Berkeley : University of California Press.

Finocchiaro, M. (2005). *Arguments about Arguments*. Cambridge : Cambridge University Press.

Finocchiaro, M. (2010). *Defending Copernicus and Galileo : Critical Reasoning in the Two Affairs*. Dordrecht : Springer.

Finocchiaro, M. (2013). *Meta-argumentation : An Approach to Logic and Argumentation Theory*. London : College Publications.

Finocchiaro, M. (2014). *The Routledge Guidebook to Galileo's Dialogue*. Milton Park (UK) : Routledge.

Finocchiaro, M. (2019). *On Trial for Reason : Science, Religion, and Culture in the Galileo Affair*. Oxford : Oxford University Press.

Koyré, A. (1943). Galileo and Plato. *Journal of the History of Ideas*, 4, 400-428.

Koyré, A. (1966). *Études galiléennes*. Paris : Hermann. Édit. orig. : 1935-1939.

Revue des Questions Scientifiques, 2022, 193 (1-2) : 179-185

Analyse critique

Libres propos inspirés par une biographie d'Alexandre Koyré

Godofredo Iommi Amunátegui
Pontificia universidad católica de Valparaíso
godofredo.iommi@pucv.cl

Zambelli (Paola), *Alexandre Koyré, un juif errant ?* / traduit par Irène Imbart. – Florence : Museo Galileo, 2021. – xv, 241 p. – (version électronique).

Le livre de P. Zambelli recueille les résultats d'une recherche remarquable qui porte sur A. Koyré. Dans l'épure qu'elle trace de l'historien des sciences, la distinction entre la *vita activa* et la *vita contemplativa* semble s'estomper[1].

1. Qu'on en juge sur pièces. Voici un bref coup d'œil sur la structure du volume : Première partie, chap. 1 : « Alexandre Koyré SR (Socialiste révolutionnaire) » ; chap. 2 : « Koyré S.R. (Service des Renseignements) : informateur des Français et/ou des bolcheviks ? » ; chap. 3 : « *Koyré as a Russian abroad* » [sic] ; Deuxième partie : « Un exilé et ses études » ; Troisième partie : « De la Méditerranée aux États-Unis ». Ces deux dernières parties ne sont pas divisées en chapitres, mais en sections dont je ne puis ici détailler le contenu. Voici quelques points de repère. En ce qui concerne la deuxième partie, je signale les noms de Husserl, Meyerson, Lévy-Bruhl, Descartes et Galilée. La troisième partie relate la période entre les deux guerres, la Seconde guerre mondiale et l'après-guerre ainsi que la dérive de Koyré dont les ports d'attache sont Paris et Princeton. J'abrège et beaucoup. Notons toutefois que l'original italien de ce livre, *Alexandre Koyré in incognito*, est paru en 2016 à Florence chez Leo S. Olschki editore. Cette première édition est augmentée, ici, du chapitre « *Koyré as a Russian abroad* ». Enfin, je remarque quelques errata : il faut lire « les professeurs » au lieu de « le professeurs » (p. 61, en entête de la page et ligne 10 ; en entête des pages 63 et 65) ; p. 127, ligne 7 : il faut lire « l'on décèle » au lieu de « l>on décèle » ; p. 129, ligne 6 : il faut lire « l'influence » au lieu de « l>influence »,

Et ce, à ses risques et périls[2]. D'entrée de jeu l'on sait à quoi s'en tenir :

> « Jusqu'à présent Alexandre Koyré a été considéré par les spécialistes de l'histoire des sciences et des débats épistémologiques qui s'y rattachent [...] comme un maître auquel on doit une contribution fondamentale [...]. Mais c'est l'autre versant de son activité qui paraît encore plus surprenant et a représenté pour moi une source de difficultés imprévisibles [...]. Je parle de la *vie active* de Koyré [...] né d'une riche famille juive (de commerçants qui résidaient entre Odessa et Rostov-sur-le-Don, entre la Mer Noire et la Mer d'Azov) [...] : il a été actif tant comme conspirateur dans la Russie tsariste que — sous diverses formes — au début de l'époque soviétique. [...] Au cours de l'été 1914 [il] était rentré précipitamment de vacances pour s'enrôler dans la Légion étrangère mais très vite [...] il s'était retrouvé agent double, informateur des Français et/ou des bolcheviks. » (p. III, V, 20 et 56).

Jadis le voleur de grand chemin soumettait le voyageur effrayé à un choix sans appel : la bourse ou la vie. Cet énoncé disjonctif était, certes, de pure forme. Attardons-nous sur la formule en y changeant juste un mot : l'œuvre ou la vie. Puis deux : l'œuvre et la vie. Mais le compte n'y est pas. Ne faudrait-il pas mettre en musique l'expression « la vie à l'œuvre » ? Mais comment s'y prendre ? Comment parcourir les recoins de ce paysage déchiré sans y perdre le nord ? Peut-être en prenant pour guide des fragments de l'œuvre qui reflètent, comme un miroir, la vie de Koyré devenue monnaie d'échange aux frontières d'elle-même[3]. En 1935, il publie le compte rendu du livre de H. Austryn Wolfson, *The philosophy of Spinoza, unfolding the latent process of his reasoning* (Harvard University Press, 1934) et signale que « la méthode historique qu'il applique dans son travail implique en fait la présupposition que le texte qu'elle étudie possède, pour ainsi dire, deux auteurs : un auteur explicite qui s'exprime dans certains symboles conventionnels [...] et un auteur implicite, dont les pen-

ligne 7 : il faut lire « d'attention » au lieu de « d>attention » ; p. 131, ligne 12, il faut lire « qu'un » au lieu de « q>un », ligne 14, il faut lire « l'intérieur » au lieu de « l>intérieur », ligne 16, il faut lire « l'identité » au lieu de « l>identité ».

2. Avec justesse, Jean-François Stoffel (2019) regrette que, dans son ouvrage, elle n'ait point mis au clair le paradoxe de son entreprise. En effet, Koyré, quant à lui, entre dans le vif du texte de l'auteur qu'il étudie, envisage la constellation spirituelle dont ce dernier fait partie et ignore, par principe, les détails biographiques. Dans ce travail, J.-Fr. Stoffel analyse l'édition italienne de l'opus de Zambelli.

3. Zambelli, à sa manière, ne dit pas autre chose : « [...] au lieu d'insister sur les écrits plus célèbres [...] et par conséquent les plus exploités, j'utiliserai des comptes rendus et des écrits mineurs » (p. III).

sées non exprimées nous permettent de saisir la signification pleine et entière de ces symboles... Il y a, d'une part, un Spinoza explicite que nous appellerons Benedictus [...] et, d'autre part, un Spinoza implicite qui se cache [...] nous l'appellerons Baruch » (Koyré, 1935, pp. 282-283). Benedictus et Baruch. L'un cache l'autre. Est-ce duplicité pure et simple ? Ou bien métamorphose de l'un dans l'autre ? L'un devient l'autre. Le même se scinde en deux et choisit sa demeure dans l'ambigüité, ce sous-sol de l'esprit qui existe et prend racine là où les racines se détachent du sol. Là où se cache Koyré, déguisé en déguisé[4]. On ne sait trop ce que cache ce déguisement. « [...] nous ne lui connaissons aucun nom de plume, mais uniquement les *alias* qu'il avait utilisés comme lycéen et ensuite après la guerre, au cours de son activité clandestine, ainsi que ceux par lesquels le désignait la police (Sciura, Blondin, Gromskij, André Reiter, peut-être Sasha Feldmann) » (p. 56). Koyré, avez-vous dit Koyré ? Quel est son vrai visage ? La question n'a point de sens. Son visage, il l'invente à chaque tournant. Cet homme qui se cache est-il dupe de lui-même ? N'est-il pas, plutôt, l'ombre chinoise née des mains d'un prestidigitateur sur le mur friable de sa propre vie ? Cet agent double, voire triple, ce *go-between* à vie est, aussi, l'auteur des *Études galiléennes*. Je suis en train d'outrer les teintes. Mais c'est pour y voir plus clair. Prenons une route traversière. Pendant l'été 1873, F. Nietzsche écrit : « Dans la mesure où, face aux autres individus, l'individu veut se conserver, c'est le plus souvent pour la dissimulation qu'il utilise l'intellect dans un état naturel des choses [...]. Le menteur fait usage des désignations valables, les mots, pour faire que l'irréel apparaisse réel [...]. L'intellect, ce maître de la dissimulation [...] » (Nietzsche, 1969, p. 175 et p. 197). Soudain, au bout du sentier, Koyré nous fait signe :

> « Il est certain que l'homme se définit par la parole, que celle-ci entraîne la possibilité du mensonge et que [...] le mentir, beaucoup plus que le rire, est le propre de l'homme [...]. Il est incontestable que l'homme a toujours menti. Menti à lui-même. Et aux autres. Menti pour son plaisir — le plaisir d'exercer cette faculté étonnante de "dire ce qui n'est pas" et de créer, par sa parole, un monde dont il est seul responsable et auteur » (Koyré, 2016/1943, pp. 7-8)[5].

La portée de cet opuscule est, en premier lieu, politique : « C'est au mensonge moderne... que nous voudrions consacrer quelques réflexions... La parole, l'écrit, le journal, la radio... tout le progrès technique est mis au service

4. « [...] à la personnalité et à la biographie de Koyré », écrit Zambelli, « s'adapte le célèbre mot cartésien "*Larvatus prodeo*" » (p. 22).
5. Ces réflexions ont paru pour la première fois en 1943 à New York, dans le premier numéro de la revue *Renaissance*.

du mensonge. L'homme moderne, là encore c'est à l'homme totalitaire que nous pensons, respire le mensonge, est soumis au mensonge, à tous les instants de sa vie » (Koyré, 2016/1943, p. 10). Dans une note, Koyré dit : « Aussi n'a-t-on jamais autant menti en France que depuis le jour où, inaugurant la marche vers un régime totalitaire, le Maréchal Pétain a proclamé "Je hais le mensonge" » (Koyré, 2016/1943, p. 10). Ici, à point nommé, un commentaire s'impose. Modifions, tout juste un peu, l'agencement de ces dernières phrases : l'homme totalitaire ment. Pétain déclare : « Je hais le mensonge ». Or, Pétain est totalitaire. Donc, si ce qu'il dit est vrai, c'est un menteur. Si, au contraire, sa proposition est fausse, alors il ment et son propos dit la vérité. Le lecteur reconnaîtra, sans peine, sous une forme à peine voilée, le paradoxe du menteur[6]. Koyré reprend un thème qui lui tient à cœur[7]. En 1946, il publie un article sur *Le Menteur* (Koyré, 1946). Le Menteur, à son avis, hante le domaine de la pure logique[8]. Dès sa publication, *The Liar* reçoit une volée de bois vert, si l'on peut dire. J. Bar-Hillel (1947) signale que Koyré n'apporte aucun argument d'importance à la discussion et qu'il commet plusieurs « bévues » (*blunders*). Bar-Hillel s'étonne d'autre part de ce que nulle mention ne soit faite des travaux de Gödel, de Tarski et de Carnap. Il lui semble que le problème des antinomies demeure ouvert et que pour lui faire front on doit avoir « *a certain amount of technical skill for handling complex logical situations* » (Bar-Hillel, 1947, p. 245 et p. 252). La riposte de Koyré ne se fait pas attendre (Koyré, 1947). Cette fois, l'intellect ne réussit pas à cacher la rage de la réplique. Koyré remercie Bar-Hillel de lui avoir signalé ses « bévues » et s'engage dans un plaidoyer *pro domo* qui se veut tranchant. Il n'en demeure pas moins que Bar-Hillel soutient, noir sur blanc, que Koyré « n'est pas dans le coup ». Max Black, à son tour, suggère que « la réforme de la logique proposée par Koyré est par trop vague et qu'il faudrait un développement beaucoup plus systématique et formel pour être en mesure de l'accomplir » (Black, 1948, p. 147)[9]. Reprenons la lecture

6. Pour mémoire, le voici. Épiménide déclare : « Les Crétois sont des menteurs ». Or Épiménide est Crétois. Par conséquent, si ce qu'il dit est vrai, c'est un menteur, et donc ce qu'il dit est faux. Si au contraire sa phrase est fausse, alors il ment, et la phrase dit bien la vérité. Et caetera.
7. L'ébauche de thèse, refusée par Husserl, à Göttingen en 1912, avait pour titre : *Insolubilia ; les antinomies de la théorie des ensembles ; les paradoxes comme perpetuum mobile* (P. Zambelli dans Stoffel, 2000, p. XII).
8. « In the No Man's Land of pure logic, The Liar, *negotium perambulans* in *tenebris*, hides out and continues his role of the ghostly Sword of Damocles » (Koyré, 1946, p. 345).
9. Black souligne, dans un ajout à son compte rendu, « a notably uncordial exchange of comments » entre les deux auteurs.

des *Réflexions sur le Mensonge* car le texte prend un tournant qui mène tout droit vers la « théorie de la conspiration » :

> « Il en résulte que le devoir suprême du membre d'un groupement secret, l'acte dans lequel s'exprime [sic] son attachement et sa fidélité à celui-ci, l'acte par lequel s'affirme son appartenance au groupe, consiste, paradoxalement, dans la dissimulation de ce fait [...]. Cela implique de toute évidence : ne pas dire — jamais — ce qu'on pense et ce qu'on croit ; et aussi : dire — toujours — le contraire. Pour tout membre d'un groupe secret, la parole n'est, en fait, qu'un moyen de cacher sa pensée. Ainsi donc, tout ce qu'on dit est faux. Toute parole, du moins toute parole prononcée en public, est mensonge. Seules les choses que l'on ne dit pas, ou du moins, ne révèle qu'aux "siens", sont, ou peuvent être, vraies. [...] Ainsi, par un nouveau paradoxe, c'est dans le refus de croire à ce qu'il *dit* et *proclame* que s'exprime la confiance du membre du groupement secret à son chef [...]. Hitler a annoncé publiquement (et même imprimé noir sur blanc dans *Mein Kampf*) le programme qu'il a ensuite réalisé point par point. [...] Mais c'était justement parce qu'il savait qu'il ne serait pas cru par "les autres", que ses déclarations ne seraient pas prises au sérieux par les non-initiés [...]. C'est là une vieille technique machiavélique du mensonge au deuxième degré [...] » (Koyré, 2016/1943, pp. 26-27 et pp. 29-30).

Le secret, donc, d'un régime totalitaire est de dévoiler son propre secret. Dans cet écrit, on devine un travail en trompe-l'œil : Koyré peaufine l'art de mentir car pour les besoins de la cause — en l'occurrence gaulliste — il construit un mensonge au troisième degré. Il conspire, lui aussi, en plein jour. Paola Zambelli a découvert dans les Archives Koyré « un document qui s'inspire de Max Stirner : en tout, trois feuillets écrits en allemand et intitulé *Vorwort* » (p. 194). Cette « préface » fut écrite par Gunther Stern, alias Gunther Anders — premier mari de Hannah Arendt et cousin de Walter Benjamin — pour son ouvrage *Nihilismus und Existens*. À New York, Anders a montré le *Vorwort* à Koyré. Pourquoi celui-ci en a-t-il conservé une copie obtenue avec du papier carbone ? Le livre de Max Stirner, *L'Unique*, publié en 1844, est, par essence, nihiliste. La portée de cet ouvrage est considérable. *L'Unique* contient une « *selvaggia macchina epistemologica* »[10] qui émeut Engels, Marx, Mussolini, Carl Schmitt et Albert Camus — écrivain que Koyré appréciait beaucoup — occupe, certes, une place dans cette lignée. Or, c'est bien du nihilisme dont il

10. À ce propos il convient de lire l'essai de Roberto Calasso (1991) qui, à ma connaissance, constitue l'analyse la plus perçante, publiée à ce jour, sur Stirner ; l'expression en italien lui appartient ; hélas, Zambelli n'en dit pas un mot.

est question dans une conférence prononcée par Koyré au Mexique en janvier 1950[11]. Dans sa communication il dit : « C'est là un danger sur lequel Platon a attiré notre attention, scepticisme, immoralisme, nihilisme, pour utiliser une terminologie moderne, qui sont tous des dangers réels créés par les sous-produits et, dans un certain sens, par la vulgarisation de la philosophie, car la philosophie est une chose difficile et se prête mal à la vulgarisation. Le peuple a besoin de mythes » (p. 186). De là naît l'exigence du secret.

Le temps d'un compte rendu, j'ai lâché la proie pour l'ombre. En toute lucidité. « Les voies de la pensée humaine sont curieuses, imprévisibles, illogiques, à la route droite elle semble préférer les détours » (Koyré, 1973, p. 287). L'enquête subtile de Paola Zambelli montre que parfois la vie et la pensée vont de pair, épousent à l'unisson les contours des mêmes anfractuosités et partagent de rares éclaircies de joie et de lumière. Hannah Arendt évoquait ainsi la figure de l'historien des sciences : « un juif russe, balloté en France et complètement francisé, mais encore et toujours totalement juif russe » (p. 222). Est-ce tout ? L'espion, le menteur, le prince de l'intelligence tiennent-ils dans cette description cordiale ? Peut-être faut-il reprendre la question sans y répondre tout à fait. Qui est ce jeune lycéen de quinze ans, ce tout jeune révolutionnaire arrêté à Taganrod le 22 novembre 1907, et qui arbore en prison un exemplaire des *Logische Untersuchungen* de Husserl ? Est-ce Koyré ? Avez-vous dit Koyré ?

Bibliographie

Bar-Hillel, J. (1947). Discussion : The Revival of « The Liar ». *Philosophy and Phenomenological Research*, 8(2), 245-253.

Black, M. (1948). The Revival of « The Liar » by J. Bar-Hillel and A. Koyré. *The Journal of Symbolic Logic*, 13(3), 147.

Calasso, R. (1991). Accompagnamento alla lettura di Stirner. Dans *I Quarentanove Gradini* (pp. 371-418). Milano : Adelphi Edizioni.

Koyré, A. (1935). « *Ethica more scolastico rabbinicoque demostrata* » : à propos d'un livre récent. *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, 60/120(9-10), 282-294.

Koyré, A. (1946). The Liar. *Philosophy and Phenomenological Research*, 6(3), 334-362.

Koyré, A. (1947). The Revival of « The Liar » : Reply. *Philosophy and Phenomenological Research*, 8(2), 254-255.

Koyré, A. (1973). *Études d'histoire de la pensée scientifique*. (Tel). Paris : Gallimard.

Koyré, A. (2016). *Réflexions sur le mensonge*. Paris : Éditions Allia. Édit. orig. : 1943.

11. *El Peligro de la Libertad Intelectual*, Tercer Congreso Interamericano de Filosofía, Enero 1950. Les actes furent publiés en 1952.

Nietzsche, F. (1969). *Le livre du philosophe* (traduction, introduction et notes par A. Kremer-Marietti). Aubier-Flammarion.

Stoffel, J.-Fr. (2000). *Bibliographie d'Alexandre Koyré* (introduction de P. Zambelli). (Biblioteca di Nuncius : studi e testi ; 39). Firenze : Leo S. Olschki.

Stoffel, J.-Fr. (2019). Alexander Koyré, fifty years after his death : Regarding four recent publications. *Pro-Fil*, 20(2), 58-71. https://doi.org/10.5817/pf19-2-2019

Zambelli, P. (2016). *Alexandre Koyré in incognito*. (Biblioteca di Galilæana ; 5). Firenze : Leo S. Olschki editore.

Analyse critique

La quête de l'origine

Approche phénoménologique

Jean-Michel Maldamé
Couvent des Dominicains (Toulouse)
Académie pontificale des sciences
Académie internationale des sciences religieuses
jean.michel.maldame@gmail.com

Nouvel (Pascal), *Avant toutes choses : enquête sur les discours d'origine*. – Paris : CNRS éditions, 2020. – 432 p. – 1 vol. broché de 15 × 23 cm. – 26,00 €. – isbn 978-2-271-12252-0.

Professeur de philosophie à l'Université de Tours, Pascal Nouvel (P. N.) propose ce qu'il appelle une « enquête sur les discours d'origine » (expression placée en sous-titre de l'ouvrage). Le propos est plus large que ce que donne à penser le terme « enquête ». Il s'agit de la mise en perspective d'une philosophie du vivant. La démarche est polémique, en ce sens que P. N. aborde une question que tenait à l'écart le positivisme, prisonnier d'une conception étroite de l'usage de la raison (pp. 53-56). L'enquête se présente comme un large parcours d'histoire de la pensée, à partir de l'interaction entre les sciences et la philosophie pour l'intelligence de la nature. La démarche est scandée par des schémas et des croquis, ce qui montre que cet ouvrage est le fruit d'un enseignement dont on admire la pédagogie.

Les premières pages d'une longue introduction (pp. 11-56) enracinent la question dans l'anthropologie. P. N. note tout de suite qu'elle conduit à présenter une « narration » dont le mode est très varié. Il le reçoit comme une invitation à examiner le « concept » d'origine (p. 13) présent dans les discussions en tout domaine, scientifique, philosophique et politique. Cette mise en perspec-

tive est référée à la démarche des philosophes. Le premier à être cité est Leibniz avec la célèbre question : « Pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ? », où P. N. voit une porte ouverte sur ce qu'il appelle « discours d'origine » dont le mode est la narration (p. 21). Il demande : cette question est-elle une porte d'entrée de la métaphysique ? Pour répondre, il cite le paragraphe où elle figure et il y voit une approche universelle modulée selon plusieurs types de discours. Le premier est constitué par des récits mythiques, dont la théogonie d'Hésiode est exemplaire. En contrepartie, se manifeste un autre type de discours : celui des scientifiques (pp. 14-19). L'analyse se poursuit alors par la présentation du mode d'interrogation philosophique, ce qui conduit à un parcours de l'histoire de la pensée en Occident et en Orient qui montre que toute culture pose la question de l'origine (p. 33). Ce constat conduit à reconnaître : « Il y a une raison plus profonde à l'impossibilité de trouver une culture qui n'aurait pas posé la question de l'origine. Cette question, en effet, ne peut pas ne pas être posée puisqu'elle reflète une essence des choses. Les choses apparaissent et disparaissent. » (p. 33). P. N. y voit une nécessité : « C'est un fait inhérent à tout monde possible. [...] Qu'on retrouve la question de l'origine dans toutes les cultures et dans toutes les civilisations n'a donc pas la signification d'un invariant anthropologique mais a plutôt celle d'une nécessité d'essence » (p. 33). Dans un si vaste champ, P. N. relève quatre types : les récits mythiques, les récits rationnels, les récits scientifiques et les récits phénoménologiques. Cette pluralité est considérée comme un fait porteur de sens : aucun de ces discours d'origine ne saurait prétendre avoir le monopole de la réponse (pp. 48-49). Pour le montrer, P. N. critique fermement la conception positiviste (pp. 52-56) et il invite les autres à approfondir leur système. Lui-même donne l'exemple : après un premier chapitre qui analyse la notion d'origine, P. N. étudie les récits mythiques (chap. II), les discours rationnels (chap. III), les récits scientifiques (chap. IV), puis celui qu'il assume en tant que philosophe : les discours phénoménologiques sur les origines (chap. V). Vient ensuite une discussion avec des auteurs modernes (chap. VI). L'examen se poursuit dans la conclusion pour vérifier la pertinence du catalogue présenté.

Le premier chapitre (« Analyse de la notion d'origine ») relève les domaines de son emploi. Un premier constat : si la question de l'origine peut être posée à propos de toute chose et à propos de tout discours sur les choses, il y a une unité : « Qu'il s'agisse de l'origine de l'Univers, de l'origine des langues latines, de l'origine des systèmes démocratiques ou de l'origine d'une tendance d'une culture à poser des questions d'origine, toutes ces questions, aussi diverses soient-elles, participent d'une même structure épistémologique fondamentale » (p. 58). Logiquement, le premier temps est une étude des « Ori-

gines du mot “origine” » (p. 58), expression où l’on voit poindre la position philosophique de P. N. : il existe un élément commun à toute question portant sur l’origine, quel que soit l’objet sur lequel elle porte. Le mot est considéré en sa racine, puis en lien avec des termes qui ont la même racine (« originel » et « original »), puis de manière dynamique avec les termes de fondement ou de fondation… Dans cette approche paraît un fait : « L’origine semble reculer à mesure qu’on s’en approche et avoir ainsi le caractère d’un horizon » (p. 68). L’analyse se fait plus philosophique en croisant les termes de genèse, d’essence ou de fabrication. Cela conduit à un examen du terme « nature » (*physis*). Le parcours suivi montre bien l’option de P. N. : il ne répondra pas à la question de l’origine en faisant référence à une « essence » — ce serait « se prêter au jeu des légitimations de valeurs introduites de manière clandestine dans les récits d’origine » (p. 88). Ce faisant, il justifie la démarche annoncée dans l’introduction : étudier les récits d’origine dans quatre champs de la pensée humaine.

Le deuxième chapitre (« Récits mythiques sur l’origine ») s’attache aux récits fondateurs présents dans les religions. Le premier est le texte de la Genèse. P. N. voit sa Limite dans le fait que l’origine du monde est référée à l’acte d’un créateur « créant et non créé ». Cette remarque l’invite à s’interroger sur l’origine de la notion biblique de Dieu à partir des travaux d’histoire des religions attentifs à l’émergence de la confession de foi biblique en un seul Dieu. D’une part, l’histoire des textes anciens montre que le texte biblique suppose des traditions antérieures et, d’autre part, les deux récits bibliques ne concordent pas. Cette situation conduit à reconnaître « le caractère mythique du récit », sans lui imposer un cadre rationnel. En respectant cette approche, P. N. voit paraître une « loi de la nature » (p. 100) et conduit à poser une question concernant tout récit de création : « La présence ou non d’une intention à l’origine de la création des étants » (p. 108). Comme cette question renvoie à une reconnaissance d’un acte spécifique (la création), P. N. considère que faire appel à un acte spécial, différent de ce qui advient dans l’ordre naturel, est corrélatif de l’ignorance des temps et des dimensions de la production du monde. Il y a donc une carence dans ces récits : l’ignorance du temps est compensée par une intervention venue « d’en haut ». Pour P. N., ce statut de « compensation » n’est pas recevable, aussi P. N. récuse-t-il une perspective explicitement théologique (p. 110) ! Par contre, l’examen des récits bibliques de création donne des clefs pour les autres récits de la formation de l’univers. P. N. cite donc les textes grecs anciens, en se référant aux travaux sur les mythes présents dans l’histoire des religions — Mircea Eliade étant l’auteur de référence. Il conclut que les mythes sont « factuellement inexacts », tout en étant « porteurs de vrai » — le propre de ces récits étant de mêler des explications physiques à des élé-

ments d'un autre ordre, moral ou affectif (pp. 121-123). La théogonie d'Hésiode en est le paradigme : une forme d'expression bien structurée est mise au service d'une Explication selon laquelle des entités préexistantes sont à l'origine des choses qui adviennent selon leur intention. P. N. parle à ce propos de « la véracité du mythe » (p. 127).

Le troisième chapitre, le plus long de cette étude, prend en compte les « discours rationnels sur l'origine ». Il s'agit de la démarche tout à fois philosophique et scientifique, un domaine où les compétences de P. N. sont plus assurées (puisque docteur en biologie et en philosophie). Le propos est centré sur l'histoire de la formation de la notion de nature et de la structuration du savoir selon le paradigme du vrai, à savoir la méthode scientifique. Le commencement est la critique des mythes par les *phusiologoï* avec la fondation de l'École de Milet et en Ionie. Le « miracle grec » (p. 131 *sqq*.) repose sur un nouvel art de poser des questions. « La question de l'origine va chercher maintenant sa réponse dans des discours plus libres dans leurs formes, qui adopteront souvent celles de discussions d'allure démonstrative ou méditative sur ce que les choses semblent être, sur ce qu'elles sont réellement, sur les "principes" (*archè*) de leur composition, etc. » (p. 137). L'exposé de la pensée des « présocratiques » rapporte la genèse de la démarche soumise aux rigueurs de la raison en quête des raisons d'être. Avec le concept de *phusis* ou nature, l'approche est toujours en tension entre le primat de l'un et la richesse du multiple lié au devenir. La mise en perspective de cette élaboration conduit P. N. à l'étude des figures dominantes : Platon et Aristote. Cette présentation érudite est très bien composée ; elle met en perspective les débats fondateurs de la philosophie dans le monde grec — c'est de grande qualité pédagogique. Les présocratiques sont situés dans leur souci d'explication de la nature et présentés comme créateurs de la démarche rationnelle cherchant une compréhension profonde de ce qui, face à l'humanité, est un monde à comprendre pour mieux y vivre. Cette présentation n'est pas sans tenir compte des débats philosophiques actuels, en particulier dans une relecture des présocratiques dans le sillage de Heidegger face au réductionnisme matérialiste ou positiviste. La présentation de Platon (pp. 178-190) puis celle d'Aristote (pp. 190-218) occupent une place importante, en introduisant les concepts fondamentaux d'une philosophie de la nature. P. N. insiste sur l'importance de la notion de finalité chez Aristote ; hélas, la présentation de la notion d'âme est maladroite quand P. N. la considère comme une « partie » (p. 205). Cela contredit la suite des analyses de l'œuvre d'Aristote pour qui l'âme transcende le passage du temps nécessaire à la gestation d'un vivant (p. 217).

P. N. passe d'Aristote à la théologie naturelle anglo-saxonne et au déisme, ici reconnu comme une vision de la nature selon le regard d'un « ingénieur » (p. 219). Le propos se consacre alors à la perspective de Kant qui reste au seuil de toute réponse en présentant les questions d'origine comme des « apories ». Le parcours philosophique s'arrête là, comme si la raison s'étant autolimitée, la réponse ne pourrait venir que des sciences de la nature.

La quatrième partie (« Récits scientifiques sur l'origine ») expose les travaux des scientifiques. Un premier temps est consacré au constat que les scientifiques ont écarté tout grand discours englobant sur les origines du monde pour ne pas dépendre des visions religieuses de la nature ou des mythes pré-rationnels. Sortis de leur manière de voir les choses, ils avaient place libre pour l'approche caractéristique des technosciences. Le changement est dû aux travaux sur les origines de la vie, domaine dont la perspective a été profondément changée par les travaux de Darwin. Pour P. N., « *L'Origine des espèces*, le livre de Darwin, constitue un tournant radical dans l'histoire de la notion d'origine » (p. 257). Il en résulte : « À partir de Darwin va s'ouvrir une nouvelle époque de l'histoire des sciences de la nature, époque au sein de laquelle la notion d'histoire va englober la nature entière » (p. 258). La démarche intellectuelle de Darwin est mise en perspective. P. N. présente d'abord des éléments de la théologie naturelle (selon William Paley). Ensuite, il pointe le moment où la question de l'origine de la vie s'efface devant la reconstitution de l'histoire des vivants : alors l'historicité du vivant est privilégiée au détriment du recours à une intention précédant la vie. P. N. note : « Paradoxalement, c'est donc en abandonnant la question de l'origine conçue comme transition de l'inerte au vivant (comme émergence des premières formes vivantes conçue comme immanente) que Darwin dénoue la question de l'origine et la dégage de la nécessité de lui fournir une explication descendante dans laquelle elle était emprisonnée » (pp. 271-272). Une option philosophique préside à ce choix : rendre compte des formes des êtres vivants en ne faisant intervenir que des causes actuellement constatables. P. N. note un changement dans la manière de penser : la question de l'origine ne se limite pas au point de transition entre le non-vivant et le vivant ; c'est une histoire retraçant un processus d'émergence. Ce terme devient le maître-mot de la philosophie de la nature. P. N. retrace les développements scientifiques pour introduire la notion de « généalogie » qui est pour lui le concept majeur de la pensée moderne (sous l'influence de Nietzsche). Il le confirme par ses références à la cosmologie actuelle (pp. 293-299). Là encore se déploie « un discours génétique » (p. 306). Il nous semble cependant qu'une question reste en suspens : la notion d'émergence est-elle explicative ou seulement descriptive ?

Le cinquième chapitre (« Discours phénoménologiques sur les origines ») emploie le terme « origine » au pluriel, en conformité au primat accordé à l'héritage darwinien qui exclut toute référence à un acte créateur — au sens classique du terme issu de la tradition monothéiste. L'attention se porte sur le discours qui dit l'origine comme émergence. Une option préside à cette approche : respecter les exigences de la démarche philosophique mise en œuvre dans la phénoménologie, à l'école de Husserl et donc « s'ancrer dans la conscience » (p. 311). « La nature tout entière, conformément à l'orientation du questionnement que propose la phénoménologie, est en premier lieu phénoménologisée, considérée comme un phénomène qui produit la conscience. La *phénoménalisation de la nature* est ainsi la porte d'entrée dans la phénoménologie » (p. 312). Or dans cette tradition, ce qui est premier, c'est « l'expérience originaire du monde de la vie » et donc l'attention à ce qui est natif et naïf dans une optique dite de « naturalisation » — une notion qui demande à être précisée tant elle est équivoque. P. N. retrace le parcours de la démarche de la phénoménologie élaborée par Husserl, qui se rattache à ce qui est vécu. L'exposé est technique au plan philosophique, puisque P. N. analyse des concepts clefs de la démarche fondatrice de Husserl, précisée ensuite : jugement, intuition, conscience… Autant de concepts qui la font se distinguer de la psychologie et de l'idéalisme. La notion de « réduction » est analysée. De cette mise en ordre conceptuelle naît la possibilité de préciser que, pour Husserl, la question de l'origine du monde devient celle de « l'origine du monde comme phénomène » (p. 334). Cette perspective est explicitée sur la question de l'origine non réduite à l'instant initial d'un processus. Cette perspective exclut toute naïveté, car tout se produit « dans la conscience » (p. 335). P. N. explicite cette philosophie avec un exemple : la table présente dans la salle de cours. Il écrit à son propos : « La table n'est plus considérée comme un objet qui serait simplement visé par la conscience, mais comme chose que la conscience a la capacité de rendre présente par ses propres prestations constitutives, donc en tant que chose *constituée* par la conscience » (p. 335). Ainsi le philosophe en quête de l'origine passe par l'expérience ou le vécu. Ce rappel du fondement de la démarche phénoménologique explique la différence de ce discours avec celui des sciences ou du sens commun.

Pour légitimer cette démarche, P. N. prend comme exemple la neurologie. Il n'a pas de peine à relever la naïveté des neurologistes qui réduisent la pensée à l'activation de réseaux Neuronaux et méconnaissent la consistance spécifique à la connaissance humaine et à la pensée. Pour la phénoménologie, la conscience est irréductible à ce qu'en disent les sciences ; elle est constituante. Ainsi la notion d'origine prend un autre sens que dans les discours scientifiques ou dans

les grands récits : elle en est le fondement. P. N. cite longuement Husserl pour préciser le sens du terme « transcendantal » dont il souligne l'originalité. Il est irréductible au scientifique ; plus encore, il en est au fondement : « Pour constituer l'objet dont la science fournit une explication en terme matérialiste — le cerveau —, il faut bien que premièrement il soit possible d'accéder à la conscience de cet objet. Si donc la question de l'origine de la conscience peut être posée, c'est à partir seulement de la conscience elle-même en tant qu'elle est donatrice de phénomène et non en tant qu'elle est le produit d'une activité électrochimique spécifique » (p. 347). En neurologie, P. N. distingue donc entre le sens et le signal. Ce faisant, il affirme la primauté de la démarche noétique du philosophe. Pour se justifier, il présente la spécificité de l'approche de la phénoménologie à l'école de Husserl — l'exposé est très pédagogique en relevant la richesse du langage humain et surtout sa capacité à considérer toute chose d'une manière spécifiée par l'expression « en tant que » (pp. 352-360), ce qui définit « le propre de l'homme ». Il apparaît alors que les approches irréductibles de la science et de la philosophie sont solidaires, mais selon un ordre : c'est la conscience humaine qui est constituante. « La "position" que défend Husserl, et avec lui toute la phénoménologie, consiste à tenir compte du caractère constituant de la conscience humaine tout en dégageant ce dernier d'un caractère simplement psychologique. Si la conscience humaine est constituante, cela implique aussi que toute investigation du réel est, en fait, une investigation du réel *en tant qu'il est constitué par la conscience humaine* » (p. 374). P. N. note que les discours sur l'origine restent naïfs quand ils ne tiennent pas compte du chemin qui y donne accès : la conscience.

Le très bref sixième chapitre (« Discussion ») est une vérification de la critique de la naïveté faite à la fin du chapitre précédent. P. N. répond aux critiques qui s'adressent au primat accordé à la conscience. La première est d'accuser sa démarche d'être circulaire au sens où c'est la conscience qui « constitue » les choses qui l'environnent. Face au reproche d'idéalisme, il précise le sens des concepts en distinguant entre « l'étant » et « le réel ». La démarche du philosophe procède par des distinctions et donc, ultimement, par le sens donné à la notion de « nature ». C'est en fonction de cette idée de nature que P. N. situe les approches analysées précédemment : les grands récits qu'il qualifie de « créationnistes » comme les discours de la science. Une confirmation de sa position est donnée à propos de l'apparition de l'humanité. P. N. écarte le réductionnisme matérialiste en le situant avec une image : celle de l'« orthogonalité » entre l'approche matérialiste (scientifique) et la prise en compte de la conscience. Il le fait en critiquant l'ouvrage de Jean-Marie Schaeffer (*La Fin de l'exception humaine*) qui réduit la conscience à l'opératoire (p. 393 *sqq*.).

L'ouvrage s'arrête sur la défense de la valeur de l'approche phénoménologique. La conclusion élargit rapidement le champ de l'analyse à d'autres cultures pour justifier l'universalité de la démarche qui repose sur une anthropologie passée au crible de la « réduction phénoménologique ».

L'ouvrage de P. N. est une œuvre philosophique qui apporte des lumières sur la notion de nature. En présentant les quatre voies d'approche et de thématisation de la notion d'origine, elle a le mérite de l'universel. Il est heureux que la philosophie soucieuse de s'enraciner dans la nature ne réduise pas son champ à ce qui est apporté par les scientifiques. Tout en les respectant, P. N. prend en compte tous les éléments de l'approche humaine de la nature. La place accordée aux « grands récits » est donc bienvenue dans la mesure où ils sont l'objet d'études d'histoire des religions ou de sociologie et donnent accès à ce qui est profondément ancré dans la pensée humaine tout en restant au seuil de la philosophie proprement dite. La démarche scientifique est analysée ; elle est située dans sa naissance et son développement ; elle est replacée dans le champ des auteurs classiques dans l'enseignement de la philosophie. Le choix de la phénoménologie permet de se libérer du rationalisme ou du matérialisme, l'un et l'autre trop étroits.

Il y a, hélas, un manque que nous regrettons vivement. Posant la question de l'origine, toute réflexion ne peut pas éluder de parler de « création ». Ce mot apparaît, mais il reste dans le cadre des grands récits. Ce faisant, la spécificité du terme n'apparaît pas. Certes, les textes bibliques qui parlent de la création sont des récits imagés et en premier lieu les deux textes qui ouvrent la Bible ; ils relèvent d'un genre littéraire universel dans les cultures traditionnelles. S'arrêter à ce point, c'est ignorer que le terme de création ne se réduit pas à l'action rapportée dans le style des mythes fondateurs. Il a une dimension spécifiquement métaphysique. Elle est exprimée dans la théologie de langue grecque qui parle en termes ontologiques en développant une métaphysique de l'unité et de la transcendance. Le verbe « créer » est entendu par P. N. seulement dans le sens de « fabriquer », au sens artisanal du terme — ce qui exclut la spécificité du terme dans la tradition chrétienne. Si P. N. a raison de noter l'indécision du premier chapitre de la Genèse, celui-ci pose un abime sur lequel plane l'Esprit de Dieu. Il a donc raison de dire que la notion de *creatio ex nihilo* n'est pas présente dans la Genèse où Dieu reste un artisan. Ce faisant, il reste prisonnier de ce seul texte. Il méconnait que, dans la tradition biblique, il y a place pour une autre conceptualisation. Celle-ci apparaît explicitement dans le livre des Maccabées (hélas deutérocanonique et, de ce fait, ignoré de beaucoup). Si elle a été ensuite développée dans les premiers siècles de l'ère chrétienne par les

Pères de l'Église dès le deuxième siècle de notre ère, elle était latente dans les textes bibliques qui accordent une place centrale à la Sagesse dans la troisième partie de la Bible juive : « les Écrits » (ou textes sapientiaux, pour les chrétiens). Ces textes ont été à la source de la pensée qui fut et reste (*nolens volens*) matricielle dans la culture européenne et source de la métaphysique classique (en sa grande diversité). Mais il s'agit là de « métaphysique classique » — une perspective que l'attention à la seule démarche noétique de la phénoménologie ne prend pas en compte. Cette réserve a une conséquence : écarter toute référence à la théologie universitaire qui repose sur un usage méthodique de l'argumentation. Cette méconnaissance concerne aussi la Bible. S'il y a en elle des mythes et des grands récits symboliques, il y a aussi la réflexion des sages. Celle-ci n'ignore pas les sciences. Le texte le plus cité dans les traités de la création est le verset du livre de la Sagesse où il est écrit que Dieu a formé le monde « avec mesure, nombre et poids » (Sg 11, 20) — trois termes qui se réfèrent à la science pratiquée par les Grecs.

Voici encore deux remarques. D'abord, P. N. n'a pas pris le temps de critiquer la mise en relation de deux éléments pourtant présents dès la présentation de l'ouvrage. Le titre (*Avant toute chose*) se place dans une perspective temporelle, tandis que le sous-titre (*Enquête sur les discours d'origine*) annonce une étude qui ne s'enferme pas dans le cours du temps. La question du rapport au temps n'est pas abordée ; elle aurait croisé la démarche de *Sein und Zeit* qui passe par une ascèse où la métaphysique joue un rôle dynamique. Ensuite, dans la Bible, seul le premier chapitre de la Genèse est pris en considération. C'est méconnaître que sa place « en tête » des livres présentés comme Loi (*Torah*), Prophétie et Sagesse lui donne une place qui ne se réduit pas à celle de l'antériorité spatio-temporelle : c'est un accès à une transcendance non enchaînée au devenir.

Revue des Questions Scientifiques, 2022, 193 (1-2) : 197-201

La « sphère piétinée »

Comment dessiner un astrolabe selon Nicéphore Grégoras et Isaac Argyre

Anne Tihon
Faculté de philosophie, arts et lettres
Université catholique de Louvain
anne.tihon@uclouvain.be

Grégoras (Nicéphore) - Argyre (Isaac), *Deux traités byzantins de construction de l'astrolabe* / texte établi et traduit par Claude Jarry. – Paris : Les Belles Lettres, 2021. – xviii + 185 p. – (Collection des Universités de France : Série grecque ; 562). – 1 vol. broché de 12 × 19 cm. – 59,00 €. – isbn 978-2-251-00646-8.

Ce livre intéressera surtout les amateurs de cet instrument étrange et fascinant, recherché par les collectionneurs : l'astrolabe plan. Ils y trouveront une édition, avec traduction française, de traités sur la construction de l'astrolabe, rédigés par deux érudits byzantins qui ont joué un rôle important dans l'histoire scientifique de Byzance. Nicéphore Grégoras a été un promoteur zélé de l'astronomie de Ptolémée dans les années 1330-1340 : calculs d'éclipses, traité sur la date de Pâques, traités sur l'astrolabe, compléments des *Harmoniques* de Ptolémée. Isaac Argyre a composé, dans les années 1368-1372, de nombreux opuscules scientifiques : tables astronomiques, traité sur la date de Pâques, traités arithmétiques, traité sur l'astrolabe. L'ouvrage contient une introduction, agréable à lire, sur l'histoire de l'instrument, et quelques remarques critiques intéressantes sur la valeur scientifique de ces traités.

Mettre ces traités à la disposition d'un plus large public est une entreprise louable. Malheureusement, les spécialistes seront beaucoup moins heureux à la lecture de ce volume : c'est dommage que Claude Jarry soit si peu rigoureux et précis en ce qui concerne les manuscrits.

Les traités sur l'astrolabe de ces deux érudits ont été édités en 1939 par Armand Delatte[1]. Cette édition, basée sur un nombre restreint de manuscrits, n'est pas accompagnée d'une traduction. L'auteur se propose donc de « procéder à une véritable édition critique de ces textes sur une base manuscrite plus large et avec adjonction de traductions en français » (p. XVII).

1. Les *Traités sur l'astrolabe* de Nicéphore Grégoras

L'auteur donne une liste de manuscrits sans aucune description : les douze manuscrits cités sont loin de représenter l'entièreté de la tradition manuscrite. Sans prétendre à l'exhaustivité, j'ai relevé neuf manuscrits supplémentaires : les *Ambrosiani* 311 (E 104 sup), 843 (C 6 inf), 667 (Q 13 sup), le *Constantinopolitanus Seragliensis* 19[2], le *Londinensis Regius* 16 C XII, le *Marcianus* Z 333, *l'Oxoniensis Holkham* 290, les *Parisini* 2397 et 2493. Dans certains cas, le traité de Grégoras est mis sous le nom d'Ammonius ; cette question n'est pas évoquée dans le présent ouvrage.

L'édition de Delatte donne deux traités sur l'astrolabe de Nicéphore Grégoras, appelés traité A et traité B. En fait, Grégoras a composé un premier traité (A) qu'il a ensuite remanié et élargi : le traité B édité par Delatte est une partie de ce remaniement. Nous avons la chance d'avoir un manuscrit partiellement autographe, le *Vat. gr.* 1087, qui contient la révision par Grégoras de son premier traité. Ce travail n'a pas été achevé : le *Vat. gr.* 1087 est plutôt un brouillon qu'une révision parfaitement finalisée. Il n'empêche, la mission de l'éditeur est claire : il faut suivre ce manuscrit, en indiquer les parties autographes, les annotations, l'emplacement des figures, bref donner un portrait fidèle de ce qui constitue cette révision. On ne peut pas dire que la présente édition remplisse ce programme.

Dans son édition du traité A, Cl. Jarry incorpore les leçons du *Vat. gr*. 1087 (sous le signe G2) ce qui, à mon avis, ne fait qu'embrouiller le problème : il eût été bien plus clair de ne pas mélanger les deux états des chapitres communs au traité A et à son remaniement, et de baser l'édition strictement sur les manuscrits qui présentent le seul traité A. L'édition du traité A est suivie de l'édition de quatre scolies, déjà éditées dans Delatte.

1. Delatte, 1939, pp. 195-235 (Nicéphore Grégoras) et 236-253 (Isaac Argyre).
2. Voir Neugebauer, 1949.

L'édition du traité révisé, conservé dans le *Vaticanus gr.* 1087, appelle des réserves. La révision de Grégoras commence, au f. 312v de ce manuscrit, par un prologue, édité par Delatte, pp. 213-221 d'après le *Baroccianus* 166[3]. Ce prologue manque dans l'édition de Jarry. J'ai en main le volume de Delatte qui a appartenu à mon maître, l'abbé Joseph Mogenet. Celui-ci a été le premier à montrer que le *Vat. gr.* 1087 contenait un remaniement par Grégoras lui-même de son premier traité sur l'astrolabe (Mogenet, 1950). Dans son exemplaire de l'édition Delatte, J. Mogenet a signalé toutes les différences entre le texte édité et le *Vat. gr.* 1087. Celles-ci montrent que le prologue aurait dû être réédité dans une « édition critique ». Certes, ce discours préliminaire ne traite pas directement de l'astrolabe, mais mélange réflexions philosophiques, scientifiques et polémiques, avec des allusions mythologiques à la manière typique de Grégoras. On comprend bien pourquoi Cl. Jarry a fait l'impasse sur ce texte, mais le savant byzantin, lui, voulait le mettre en tête de sa réédition.

Pour le reste, j'ai comparé l'édition avec la reproduction du manuscrit qui figure sur le site de la Bibliothèque Vaticane[4], et avec mes notes prises lors d'un examen personnel du manuscrit. Dans son apparat critique, Cl. Jarry ne signale pas les parties autographes et les changements de mains. Les annotations marginales de la main de Grégoras sont pour la plupart omises. Les erreurs de lecture sont fréquentes. L'emplacement des figures dans le texte n'est pas signalé. Les figures éditées ne reproduisent pas les inscriptions. La traduction de certains termes laisse à désirer.

Parmi les commentaires sur le texte, Cl. Jarry pose la question des sources de Grégoras : en effet, les traités antérieurs ne décrivent pas les tracés de l'instrument, mais donnent seulement son mode d'emploi. Parmi les pistes, l'auteur suggère une influence occidentale, par l'intermédiaire de Chypre, mais ce n'est pas vraiment convaincant. Un autre indice serait peut-être la comparaison de l'astrolabe avec une sphère foulée aux pieds qui étonne Cl. Jarry (pp. 59-60). Ceci rappelle l'histoire de l'invention de l'astrolabe dans une tradition arabe[5] : Ptolémée tenant à la main une sphère céleste et chevauchant une monture aurait laissé tomber la sphère que l'animal aurait piétinée ; le résultat serait l'as-

3. *Vaticanus gr.* 1087, f. 312v : Νικηφόρου Γρηγορᾶ περὶ τῆς ἐν ἐπιπέδῳ καταγραφῆς τοῦ ἀστρολάβου προοιμιακὸς λόγος πρός τινα φίλον. *Inc.* Σὺ δὲ ὦ βελτιστε... En marge supérieure du f. 312v, Grégoras a écrit de sa main : ἀρχὴ (« commencement »).
4. http://www.mss.vatlib.it/gui/scan/link.jsp. Pour les remarques qui suivent, quelques exemples sont donnés en annexe à ce compte rendu.
5. Rapportée par Ibn Khallikân (XIIIe s.) : King, 1981, p. 45.

trolabe. On notera aussi que le dessin de l'araignée (fig. 10) semble reproduire un véritable astrolabe.

2. Le traité d'Isaac Argyre

L'auteur donne une liste de dix manuscrits auxquels il faut ajouter les manuscrits suivants : *Constantinopolitanus Seragliensis* 5 (inachevé), *Marcianus* Z 328, *Atheniensis Ethniko Istoriko Mouseio* 71, *Athous Iviron* 102, *Athous Vatopedi* 279, *Metochion du St Sépulchre* 121. L'édition même est faite sur base du *Marcianus gr*. Z 323, qui serait un autographe d'Isaac Argyre.

Je n'ai pas la possibilité de vérifier le texte sur des photos du manuscrit. Cl. Jarry donne un bon aperçu du contenu du traité d'Isaac Argyre et souligne les progrès d'Isaac Argyre par rapport à Grégoras.

Au total ce livre rendra service à ceux qui désirent se mettre au courant des procédés byzantins relatifs aux tracés de l'astrolabe, mais, pour les détails philologiques et codicologiques, il faudra l'utiliser avec circonspection.

3. Annexe

À titre d'exemples, je signale ici quelques erreurs et omissions relevées dans l'édition des traités de Grégoras.

Lectures à corriger (G2 = Vat. gr. 1087 ; éd = édition Jarry)

	G2	éd.
p. 27 app (= f.316v)	ἥτις ἀναλογεῖ μὲν τῷ κατὰ κορυφὴν ἑκάστῳ οἰκήσεως σημείῳ	ἀναλογεῖ μὲν τῷ κατακορυφικῆς οἰκήσεως σημείῳ
p. 30 app (= f. 319)	προιοῦσιν ἡμῖν	προιόντων ἡμῶν
p. 74, app (= f. 313v) (remarque écrite par Grégoras, inc. τὸ παρὸν βιβλίον...)	εἴτε ἦν μὲν πρότερον	μὲν om ed
ibid.	ἢ ἠφάνισε δ'	καὶ ἠφάνισε
ibid.	εἴτε οὐκ ἦν οὐδαμῶς	εἴτε ἦν οὐδαμῶς
	τοῖς ἀστρονόμοις ὂν	τοῦ ἀστρονόμου ὂν
p. 76, l. 2	τοῦ δὲ β' καὶ πῶς δεῖ	τοῦ δὲ πῶς δεῖ

Exemples de notes marginales non signalées

p. 28, l. 20 (chapitre commun au traité A et au *Vat. gr.* 1087) : en marge de ἧλος, Grégoras a écrit : γρ· ὀμφαλὸς. Non signalé.

p. 31, l. 1 : l'apparat signale καὶ τῇ ἀράχνῃ om G2 (= *Vat. gr*. 1087). Mais ces mots sont insérés sous la ligne par Grégoras lui-même (f. 319).

p. 81 ss, notes marginales du f. 314v : non signalées.

p. 88 : note du f. 315 : non signalée.

p. 89, avant Χρὴ εἰδέναι est écrit Τοῦτο ὄπισθεν ὤφειλε τεθῆναι· ζητητέον οὖν, non signalé.

f. 319 : une grande inscription en arabe, le long de la reliure, n'est pas signalée.

Les inscriptions qui se trouvent sur les figures ne sont pas reproduites, par exemple :

p. 98 : la figure 10 (f. 318v) comporte des inscriptions. Deux étoiles sont placées sur l'araignée : βασιλίσκος (à 20° du Lion) et ἀετός (à 20° du Capricorne) comme expliqué dans le texte qui se trouve sous la figure dans le manuscrit (= p. 90, l. 11 ss de la main de Grégoras, inc. Ἰστέον ὅτι σαφηνείας). La réglette supérieure porte l'inscription : μοιρῶν ξς/ μοιρῶν κδ/μοιρῶν κδ. On notera que, sur la figure de la p. 98 (fig. 10), les signes du Taureau (♉) et du Lion (♌) ont été malencontreusement intervertis ; la même erreur se retrouve sur la fig. 16.

De même, pour la fig. 11, p. 99 : au sommet du folio est écrit de la main de Grégoras : Τοῦτο καταληθὴν ἐσφάλη καὶ ἀφείθη.

Bibliographie

Delatte, A. (1939). *Anecdota Atheniensia et alia. Tome II* : *Textes grecs relatifs à l'histoire des sciences*. Liège : Faculté de philosophie et lettres.

King, D. (1981). The Origin of the Astrolabe according to the Medieval Islamic Sources. *Journal for the History of Arabic Sciences*, 5, 43-120.

Mogenet, J. (1950). Les deux traités sur l'astrolabe de Nicéphore Grégoras. Dans *IIIe Congrès national des sciences* (pp. 107-108). Bruxelles.

Neugebauer, O. (1949). The early History of the Astrolabe. *Isis*, 40, 240-256 (repris dans *Astronomy and History : Selected essays*. New York ; Berlin ; Heidelberg ; Tokyo : Springer Verlag, 1983).

Comptes rendus

Histoire des sciences

Dolan (Marion), *Decoding Astronomy in Art and Architecture*. – Cham : Springer International Publishing, 2021. – xiii + 343 p. – 24,27 $ Us. – isbn 978-3-030-76511-8 (version électronique).

L'astronomie jouait-elle un rôle dans la construction, dans l'orientation des bâtiments ou dans les figurations artistiques que l'archéologie découvre dans les sites les plus anciens ? Ainsi, certains bâtiments du site turc de Göbekli Tepe, dont la construction est datée du XIe siècle avant notre ère, semblent orientés vers le lever du soleil au solstice d'été. Les étonnantes figures animales qui y décorent les piliers en T pourraient également représenter des constellations. Ne faut-il pas voir là une astronomie implicite que l'archéologue doit apprendre à « décoder » dans l'architecture et l'art les plus anciens ? C'est le problème général soulevé par un champ disciplinaire relativement récent, l'archéoastronomie, dont Marion Dolan, dans son ouvrage *Decoding Astronomy in Art and Architecture*, a voulu donner une sorte d'illustration générale.

Le but louable de Dolan est de rassembler suffisamment de données archéoastronomiques pour fournir au lecteur « une nouvelle compréhension de l'importance et de la profondeur du savoir scientifique possédé par les sociétés dites primitives » (p. 4) et les civilisations anciennes. Son ouvrage couvre tous les continents et enjambe l'histoire du néolithique turc à la Renaissance italienne. Les 17 chapitres sont distribués en cinq grandes parties dont l'unité, problématique, est plus ou moins « civilisationnelle » : le néolithique (turc et anglo-saxon) ; le Sud-est asiatique (hindouisme, Angkor, bouddhisme) ; la Chine ; le « monde classique » (Grèce, Pétra, Empire romain) ; l'Europe médiévale ; la Renaissance ; et enfin l'Amérique indienne.

Chaque chapitre se réduit en réalité à quelques observations touchant quelques sites, sans jamais rentrer suffisamment dans le détail pour qu'un trait significatif se manifeste. Ainsi, le chapitre 12 intitulé « Art, architecture et astronomie à Pétra » contient finalement peu d'art, d'architecture ou d'astronomie : après avoir donné brièvement quelques

Licence : CC BY-NC-ND 2.0 BE
Diffusion autorisée — Pas de modification — Pas d'utilisation commerciale

indications historiques (sinon anecdotiques) sur Pétra et les Nabatéens, Dolan résume certains résultats des études conduites par l'équipe de Juan Antonio Belmonte sur l'ensemble du complexe urbain. Par exemple, le positionnement des ouvertures du Tombeau à l'Urne est tel qu'un faisceau de lumière y frappe l'abside centrale au coucher du soleil pendant l'équinoxe, puis directement le coin intérieur sud-est ou nord-est à chaque solstice, « marquant ainsi les événements clés du parcours du soleil durant l'année » (p. 179). Belmonte en déduit qu'il pourrait s'agir d'un calendrier en pierre. C'est là la structure générale de chaque chapitre : de brefs rappels qui précèdent la vulgarisation d'études récentes en archéoastronomie.

L'ensemble a l'allure décevante d'un patchwork qui ne va jamais au détail. Le lecteur est abandonné à des hypothèses, sans comprendre les raisonnements scientifiques qui les motivent. Ainsi, Dolan consacre plusieurs pages au culte de Mithra et rapporte l'interprétation astronomique de l'iconographie de la tauroctonie proposée par David Ulansey, selon lequel le taureau symboliserait la précession des équinoxes (p. 211). Idée sans doute intéressante, mais Dolan laisse en fait le lecteur sans argument.

Les chapitres sont inégaux, ce qui est naturel pour un ouvrage aux objectifs si amples. Le lecteur apprendra ainsi avec intérêt l'existence d'une carte d'étoiles chinoise découverte dans les Caves de Mogao à Dunhang : non seulement il s'agit de la plus ancienne carte connue, avant le début de l'ère des Tang vers 618, mais elle catalogue en outre 1300 étoiles, bien plus que Ptolémée dans son *Almageste* (p. 134). Le lecteur s'étonnera aussi qu'on n'ait jamais remarqué avant 1990 que Michel-Ange avait secrètement inséré la description anatomique d'un cerveau humain dans la grande fresque de la Création d'Adam de la chapelle Sixtine (p. 273). Mais au terme de l'ouvrage, le lecteur aura bien du mal à savoir exactement ce qu'il a appris du ciel, de l'architecture et de l'histoire.

Louable dans ses intentions, l'ouvrage est donc décevant dans sa réalisation. À la différence du *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy* de Clive R. N. Ruggles (Springer, 2014), l'ouvrage manque de détails consistants et s'en tient à un niveau beaucoup trop général. Il polémique, mais semble s'inventer l'ennemi qu'il combat facilement. Par exemple, Dolan déclare : « Le fait que l'astronomie jouait un rôle essentiel dans la religion grecque et les pratiques cultuelles ne peut être nié. Le travail des archéoastronomes fournit un nombre incalculable d'exemples où les croyances religieuses de l'ancienne culture grecque étaient liées aux mouvements des corps célestes et au cours des affaires humaines. » (p. 148). Mais, bien que l'astronomie ne se voit souvent pas accorder sa juste place dans l'étude de la mythologie grecque, qui nierait sérieusement une idée aussi générale ?

À de rares exceptions près, l'auteur se contente de montrer l'intégration de connaissances astronomiques dans la vie culturelle des populations survolées. Cette idée générale et abstraite, qui présuppose une sorte d'astronomie et de symbolisme uniformes et universels, ne donne presque jamais lieu à une meilleure compréhension des populations particulières concernées. Il est intéressant d'apprendre que les architectes chinois étaient plus attentifs aux constellations autour du Pôle Nord dans leurs choix d'orientations qu'aux solstices et équinoxes (p. 136). Mais que cela nous apprend-il sur la science et les méditations des anciens Chinois ? Les limites de l'ouvrage sont peut-être aussi, en partie, les

limites de l'archéoastronomie elle-même : en recherchant obsessionnellement une symbolique astronomique dans tout mystère archéologique, ne présuppose-t-elle pas toujours le problème archéologique résolu ?

En bref, à part quelque détails éparts, le livre, malgré son ambition, ne change pas vraiment notre regard ni sur le ciel, ni sur l'histoire de l'astronomie, ni sur nos ancêtres. Il a peut-être le mérite de montrer qu'il y aurait beaucoup à apprendre, mais qu'en l'absence d'explication, nous ne saurons que peu sur l'astronomie et la pensée des gens qui n'écrivent pas.

Mourtaza Chopra [1] & Philippe Debroise [2]
[1] *Mandel School for Advanced Studies (Jerusalem) & Kohn Institute (Tel-Aviv)*
[2] *Université de Paris*

Marchildon (Louis), *From Thales to Gravitational Waves : The Scientific Perspective*. – Singapour : World Scientific, 2021. – 168 p. – 15 £. – isbn 978-981-123-119-3 (version électronique).

L'offre d'ouvrages présentant une perspective d'ensemble de l'histoire des sciences et de la démarche scientifique est abondante. Pour les auteurs qui se lancent dans cette aventure d'écriture, il demeure cependant difficile d'offrir une œuvre à la fois concise, bien intégrée et surtout convaincante autant pour le lecteur général que pour le scientifique aguerri. C'est ce que réussit avec brio Louis Marchildon, un physicien théoricien chevronné et spécialiste de la physique quantique. Le livre est d'une qualité pédagogique indiscutable : il rappelle le classique *L'évolution des idées en physique* par Albert Einstein et Léopold Infeld. Partant de l'Antiquité grecque, l'auteur réussit bien à illustrer à la fois la longue continuité et la rupture qui marque l'avancée des concepts et fait jaillir la découverte scientifique.

L'ouvrage est remarquable par la rigueur, la clarté et l'élégance de l'écriture ; le texte est bref, précis et l'histoire vivante. La forme rappelle celle des « Que sais-je ? ». Quand on a terminé la lecture, on demeure surpris du nombre de thèmes abordés par l'auteur. La construction de ce petit ouvrage reflète le talent de l'auteur à bien tisser, sur une trame d'analyse serrée, divers sujets allant de la physique, la chimie, la biologie jusqu'à la paléoanthropologie. On vogue aisément de la physique classique du XIXe siècle à la nouvelle physique du XXe siècle comme dans une surprenante excursion : les transitions paraissent se faire naturellement, même si de nouveaux concepts transformatifs émergent de manière radicale, p. ex. la relativité générale menant à la découverte de l'expansion de l'univers et des ondes gravitationnelles ; la physique quantique aboutissant à la supraconductivité, puis au GPS. Celui-ci marie des technologies développées grâce au quantique et son fonctionnement correct doit tenir compte des ajustements relativistes des horloges battant à des rythmes différents dans le champ gravitationnel terrestre. Fin pédagogue, Marchildon renforce donc son propos par plusieurs exemples.

Divers enjeux de science et société sont abordés succinctement et de manière éclairante. La description de l'apport des grands philosophes des sciences du XXe siècle aide à cette belle reconstruction historique. La portée et les limites de la connaissance scientifique sont clairement établies. « Il est impossible de savoir avec certitude si la nature est vrai-

ment régulière » (p. 154). Une section représentative de l'approche de l'auteur est celle à propos de la nature et de la sous-détermination des théories (pp. 52-54). « Si l'accord de la théorie avec l'expérience et particulièrement les prédictions vérifiées rendent la théorie possible, elles ne la prouvent toutefois pas. … Il se peut que deux théories différentes, mutuellement contradictoires, rendent compte aussi bien l'une que l'autre des phénomènes qu'elles visent. » Il en fut ainsi pendant près de deux millénaires pour les mouvements apparents des astres. Ceux-ci pouvaient s'expliquer soit par le mouvement de la voûte céleste soit par celui de la Terre sur elle-même et autour du Soleil. Ptolémée, al-Biruni, Nicole Oresme, Guillaume d'Occam en étaient conscients et avaient exprimé clairement cette dualité interprétative. Il a fallu à la fois un progrès significatif dans la précision des mesures astronomiques et le bond conceptuel de la dynamique Kepler-Newton pour choisir l'héliocentrisme. Marchildon ajoute : « Le fait que l'expérience ne suffise pas à déterminer de façon unique ses fondements théoriques constitue une limite importante à la connaissance scientifique » (p. 54). Poursuivant l'exemple de la classique controverse astronomique, l'expérience de l'objet lâché de la tête du mât d'un navire en mouvement tombant à son pied élimine une objection traditionnelle au mouvement de la Terre, mais ne prouve pas ce mouvement.

Il s'agit donc d'un ouvrage qui aidera les enseignants au lycée, qui passionnera les étudiants en science des classes supérieures et qui captivera tout lecteur intéressé à saisir les concepts fondamentaux des grandes disciplines de la recherche actuelle. Le livre est un exemple d'un superbe résumé d'une perspective qu'on rêve de retrouver chez les grands décideurs et les acteurs clefs de nos sociétés. Il ne faut pas hésiter à proposer cet ouvrage à toute personne curieuse qui désire en apprendre un peu plus sur « comment la science marche ».

La version française[1] offrait les illustrations en noir et blanc ; la version anglaise les montre en couleur. Les deux versions ont un index et une bibliographie.

Jean-René Roy
Université Laval

Nicole Oresme, *Questiones in Meteorologica de ultima lectura, recensio parisiensis : Study of the Manuscript Tradition and Critical Edition of Books I-II.10* / edited by Aurora Panzica. – Leyde : Brill, 2021. – vii + 290 p. – (Medieval and Early Modern Philosophy and Science, vol. 32). – 1 vol. relié de 16 × 24 cm. – 125,00 €. – isbn 978-90-04-46140-6.

Nicole Oresme est aujourd'hui considéré comme un des philosophes les plus importants du XIVe siècle, et non seulement un mathématicien comme on l'a longtemps cru. La critique s'est ainsi, depuis plusieurs années, attachée à l'édition de ses œuvres de philosophie naturelle, pour l'essentiel des commentaires aux œuvres d'Aristote qui mettent en forme ses enseignements à la faculté des arts de Paris pendant la décennie 1340-1350. Presque tous ceux auxquels il est fait allusion dans les écrits de l'époque bénéficient au-

1. Marchildon, L. (2018). *L'effet science : comment la démarche scientifique a changé notre vision du monde*. Montréal : MultiMondes.

jourd'hui d'une édition moderne à l'exception de son commentaire aux *Météorologiques*. Celui-ci constitue en effet un cas d'école des difficultés que rencontre le médiéviste dans son travail d'édition, évidemment préalable à toute étude doctrinale. En effet, alors que la plupart des œuvres d'Oresme ne sont conservées que dans quelques manuscrits, voire un seul pour son commentaire à la *Physique*, vingt-six manuscrits, dont six découverts par Aurora Panzica (A. P.), conservent, en tout ou en partie, son commentaire aux *Météorologiques* soit avec une attribution à Oresme, soit proche de l'un d'eux. Surtout, les textes ainsi transmis montrent des différences non seulement textuelles, mais parfois doctrinales, voire même des incohérences, à propos desquelles la critique se divise. On ne peut alors envisager une édition sans reprendre soigneusement l'étude de la tradition manuscrite. C'est à une telle étude qu'est consacrée la première partie du livre ici examiné.

A. P. fait d'abord le point sur les derniers apports de la critique contemporaine, parmi lesquels ses travaux occupent une place remarquable. Pendant longtemps on a considéré que la seule version authentique du commentaire par questions aux *Météorologiques* d'Oresme était celle qui est conservée dans 20 manuscrits, dont 19 proviennent d'Europe centrale ou orientale et un est d'origine parisienne. Or, une autre version de ce commentaire par questions (accompagnée d'un commentaire littéral) a été récemment mise en évidence dans un manuscrit allemand. Et A. P. a montré, à partir de considérations doctrinales, que l'enseignement qui lui correspondait était antérieur à celui de l'autre version. Nous aurions, d'après elle, les rédactions de deux enseignements successifs ou *lecture* des *Météorologiques* par Oresme, en d'autres termes une *prima lectura*, et une *ultima lectura*. C'est à cette *ultima lectura* qui est donc conservée dans 20 manuscrits qu'est consacré le livre de A. P. Et très logiquement, il commence par une étude de la tradition manuscrite, dont il faut dire qu'elle est remarquablement complète : chacun des 20 manuscrits est décrit soigneusement avec la date, voire, quand c'est possible, l'auteur de la copie, son contenu précis, et une bibliographie. Cet examen détaillé conduit A. P. à tester l'hypothèse de l'existence de deux traditions, une représentée par le seul manuscrit parisien et l'autre par les 19 manuscrits originaires d'Europe centrale ou orientale. Pour cela elle relève les différences entre le manuscrit parisien et les autres, différences qu'elle estime significativement plus importantes que celles qu'elle repère entre les manuscrits de la seconde tradition, ce qui justifie son hypothèse, par ailleurs, à chaque fois qu'il y a désaccord entre les deux traditions, la leçon du manuscrit parisien lui semble meilleure. Pour ces raisons elle a décidé de prendre cette dernière pour base de son édition de l'*ultima lectura*. Toutefois le texte parisien s'achève à la question 10 du second livre, alors que les *Météorologiques* sont séparés en quatre parties ou livres, l'édition présentée ensuite est donc incomplète.

Cette édition forme la seconde partie du livre. Pour l'essentiel elle donne le texte parisien, avec en note les variantes qu'on trouve dans la seconde tradition et qui affectent le sens du texte. Les questions abordées portent sur les phénomènes météorologiques, la connaissance que nous pouvons en avoir, les événements futurs dont ils peuvent être les signes, les éléments et leurs sphères, les comètes, la pluie, la grêle, etc. Quant aux questions sur les couleurs, la lumière, l'arc-en-ciel, etc., elles sont traitées dans le livre III, celles qui portent sur les fonctions génératives et digestives des animaux dans le livre IV, et ne figurent donc pas dans l'édition.

Il reste à expliquer l'origine des différences entre les deux traditions de cette *ultima lectura*. On a observé depuis longtemps que de nombreux manuscrits de la seconde tradition sont originaires de Prague ou dérivés d'un manuscrit praguois. Or, le règlement de cette université précisait que les enseignements devaient s'appuyer sur les écrits des maîtres les plus éminents, parisiens en particulier. Les textes de notre deuxième tradition, tout en provenant du commentaire d'Oresme, auraient pu être retravaillés ensuite par un ou des maîtres praguois. C'est ce que semble confirmer le commentaire du troisième livre édité il y a plusieurs années, qui, tout en étant *a priori* d'Oresme, est très proche du commentaire d'un autre maître parisien, Thémon le Juif, et soutient des thèses ailleurs rejetées par Oresme, mais acceptées par Thémon. Ce troisième livre, dans la seconde tradition, pourrait alors être celui d'Oresme, mais contaminé par le commentaire de Thémon.

Ces hypothèses restent fragiles en l'absence d'une édition critique de la seconde tradition qui devrait faire apparaître les différentes contaminations du texte d'Oresme. A. P. a entamé ce travail dans son livre, en élaborant pour les 19 manuscrits un *stemma*, c'est-à-dire un arbre faisant apparaître leurs dépendances, et elle annonce qu'elle travaille à cette édition.

Elle prépare aussi l'édition de la *prima lectura*, dont, en plus de la copie allemande, elle a identifié cinq copies, ce qui permettra de faire des comparaisons avec les éditions de la *secunda lectura*.

En résumé, c'est un programme de travail particulièrement ambitieux qu'a entamé A. P., qui devrait compléter de façon significative notre connaissance de l'œuvre d'Oresme et plus généralement de la philosophie naturelle à Paris au milieu du XIVe siècle. Le livre ici examiné, réalisé de façon particulièrement soigneuse, en est une étape importante.

JEAN CELEYRETTE
Université de Lille

VIGNAUD (Laurent-Henri), *Histoire des sciences et des techniques : XVIe-XVIIIe siècle*. – Paris : Armand Colin, 2020. – 400 p. – (Mnémosya). – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – isbn 978-2-200-63014-0.

Le livre de Laurent-Henri Vignaud sur l'histoire des sciences du XVIe au XVIIIe siècle reflète l'état actuel de l'histoire des sciences. Celle-ci a abandonné le grand récit progressiste de l'avancée de la science et de la révolution scientifique incarné par Alexandre Koyré et ses disciples. Dans sa version actuelle post-koyréenne, elle refuse de parler du progrès, de la révolution scientifique, et des penseurs brillants qui, dans l'isolement social, mettent au point des inventions qui vont changer le monde. Vignaud témoigne de ce changement de perspective lorsqu'il écrit : « il n'est plus possible aujourd'hui de penser cette histoire comme une suite linéaire de découvertes et d'échecs guidée par une guirlande de génies éclairant le monde » (p. 5). Au contraire, Vignaud souscrit à un programme d'histoire des sciences à orientation sociale et culturelle, et son livre n'a donc pas pour but de présenter les grandes découvertes, théories et inventions scientifiques de la période comprise entre la Renaissance et la période moderne. Au lieu de cela, il veut « offrir un panorama social et culturel du développement du savoir occidental de la Renaissance aux Lumières » (p. 6).

Son livre se concentre donc sur des thèmes typiques de l'histoire sociale des sciences, tels que les sites de connaissance, l'académie, la culture du livre, le contexte social des controverses scientifiques, etc.

Le livre est divisé en cinq parties. La première traite de l'histoire de l'histoire sociale des sciences elle-même. Vignaud présente une vue d'ensemble lucide allant des tentatives de la Renaissance de conceptualiser le développement historique de la connaissance à la sociologie moderne de la science et aux études sociales de la science. Le deuxième chapitre de cette section se concentre sur la remise en question de certaines catégories importantes d'interprétation de la science moderne précoce. En particulier, Vignaud se concentre sur la notion de révolution scientifique et sur la relativité de la distinction entre centre et périphérie. Cette section est très précieuse, car elle présente au lecteur la formation de l'histoire sociale des sciences d'une manière claire et accessible.

Dans la deuxième partie, Vignaud se concentre principalement sur les institutions de la science. Il décrit l'enseignement de la philosophie naturelle, de la médecine et d'autres disciplines dans les universités, ainsi que l'émergence de nouveaux sites de savoir non universitaires, tels que les collèges et les académies notamment. Déjà ici, le principal vice du livre de Vignaud apparaît : l'interprétation est souvent fragmentaire et saute, sans mise en contexte, entre les lieux, les disciplines et les personnalités. Parfois, l'interprétation ne ressemble qu'à des listes annotées de noms de personnes (typiquement les médecins, p. 119n.). Nous n'apprenons rien sur leur importance et leurs travaux scientifiques, ou les informations sont très superficielles, comme dans le cas de Paracelse (p. 118).

Dans la troisième partie, Vignaud traite de la République des sciences au XVIIe siècle. Comme ses collègues de l'histoire sociale des sciences, il décrit des lieux de savoir, notamment des académies, des salons, des laboratoires, des observatoires, ou des cabinets de curiosités. Mais le récit de Vignaud occulte quelque peu la question cruciale de savoir si les nouveaux sites de connaissance sont le résultat du développement de nouvelles connaissances ou si les nouveaux sites de connaissance ont provoqué le développement de nouvelles connaissances. Dans la section suivante, Vignaud aborde un autre thème populaire de l'histoire sociale des sciences, à savoir la culture du livre et ses domaines problématiques : la traduction, l'édition, le commerce du livre, l'illustration et l'émergence des premières revues.

Dans cette section, Vignaud ne néglige pas les citoyens de la République des sciences eux-mêmes. L'auteur raconte l'histoire des savants de la Renaissance qui se situaient encore dans le paradigme humaniste de la compréhension du savoir et de son histoire. Il décrit ensuite comment les savants sont devenus des aventuriers en entreprenant des expéditions scientifiques. À la fin, il parle d'« une gentilhommerie savante ». Il aborde ici les origines sociales des scientifiques et les questions de genre. Là encore, le texte est dominé par des listes de noms. Ce n'est que dans la dernière partie qu'il aborde un sujet de prédilection de l'histoire sociale des sciences, à savoir la manière dont l'étiquette du gentleman s'est manifestée dans la résolution des controverses scientifiques.

La quatrième partie de l'ouvrage s'intitule « Sciences & autorités » et traite de la relation de la science à l'égard de diverses structures sociopolitiques. Un chapitre concerne la relation entre la science et le pouvoir séculier. Vignaud traite ici, bien sûr, principalement du mécénat et de la création d'académies royales. Dans une autre section, il discute de la

relation entre la science et la religion, mais d'une manière très positiviste et simpliste. Il dépeint les églises comme des institutions qui ont supprimé la science. Il décrit en détail le procès de Galilée et la condamnation de l'astronomie copernicienne qui, selon lui, ont créé une atmosphère oppressante de peur dans toute l'Europe. Certaines de ses affirmations ne sont pas étayées par les sources. Par exemple, il affirme que « l'héliocentrisme reste une doctrine secrète, relevant presque d'une foi intérieure, sur laquelle peu prennent le risque de s'exprimer » (p. 275). Et comme exemple, il cite Christiaan Huygens qui aurait encore peur de publier son traité cosmologique *Cosmotheoros* à la fin du XVIIe siècle. Une telle affirmation est complètement déformée : Huygens a préparé le *Kosmotheoros* pour l'impression, mais il est mort avant sa publication. Il est intéressant de noter que Huygens écrit dès 1660 que les catholiques avec lesquels il a conversé n'accordent pas beaucoup de poids aux décrets de l'Église en matière d'astronomie. En France, écrit Huygens, « le système de Copernic est défendu parfois non pas comme une hypothèse mais comme une vérité acquise » (Huygens, *Œuvres complètes*, vol. XV, p. 460 *sqq*.).

Dans la dernière partie, Vignaud aborde la relation entre la science et la technologie. Il décrit non seulement diverses inventions de la Renaissance, mais aussi le très important processus d'élévation des arts mécaniques qui, depuis l'Antiquité, étaient considérés comme inadaptés aux hommes libres. Dans le dernier chapitre, il remet en question la notion positiviste selon laquelle la révolution scientifique a eu pour effet direct la révolution industrielle. Au contraire, il souligne que les relations entre les sciences, les techniques, les pratiques artisanales et les débuts de la mécanisation de la production étaient beaucoup plus complexes. Par la suite, il se concentre sur les instruments scientifiques et les pratiques expérimentales. En suivant les recherches de Simon Schaffer, Steven Shapin et Peter Dear, il montre combien le passage du fait individuel à la loi générale était difficile et comment ce problème épistémologique a été résolu par des pratiques sociales telles que la collectivisation des connaissances. Pour expliquer la science au XVIIIe siècle, il cite ensuite des exemples classiques : les expériences de Nollet sur l'électricité, l'application des méthodes statistiques aux besoins de l'État, ou la création des premières inventions annonçant la révolution industrielle.

Le livre de Vignaud donne un bon aperçu des circonstances sociales du développement de la science du XVIe au XVIIIe siècle et résume bien les recherches trouvées dans diverses publications. En revanche, l'interprétation est souvent fragmentaire, superficielle et descriptive. Même si Vignaud se démarque de la tradition positiviste, son travail reste aussi descriptif que la littérature positiviste, et se limite parfois à des listes de noms et d'écrits. Vignaud n'explique guère pourquoi un régime épistémologique a changé ou pourquoi une nouvelle pratique scientifique a été introduite. Au lieu de cela, il préfère simplement communiquer des informations qu'il fait passer pour des faits (songeons à l'héliocentrisme). C'est pourquoi le livre peut certainement servir de source d'informations factuelles sur les circonstances sociales du déroulement de la révolution scientifique (qui n'a pas existé, comme nous le savons depuis Shapin). Mais si le lecteur veut comprendre le contenu de la nouvelle science et les raisons de l'introduction de chaque théorie, il devra se tourner vers d'autres ouvrages.

Daniel Špelda
Masaryk University

De Angelis (Alessandro), *Les « Deux nouvelles sciences » de Galilée : une lecture moderne*. – Les Ulis : edp sciences, 2022. – 298 p. – 1 vol. relié de 14 × 21 cm. – 22 €. – isbn 978-2-7598-2667-4.

Subramanian Chandrasekhar, Prix Nobel de physique et déchiffreur des secrets de l'évolution stellaire, publia en 1995 une réécriture des *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, le chef-d'œuvre de Newton. Il remplaça le raisonnement géométrique par une notation mathématique formelle afin de le rendre plus accessible au lecteur moderne. L'ouvrage fut applaudi même si, à l'occasion, Chandrasekhar n'avait pas suffisamment tenu compte du contexte historique.

Newton avouait volontiers qu'il avait été profondément inspiré par les *Discours et démonstrations mathématiques concernant deux nouvelles sciences liées à la mécanique et aux mouvements locaux* de Galilée qui vit le jour un demi-siècle plus tôt. C'est cet ouvrage que nous livre Alessandro De Angelis, astronome de renom qui enseigne à l'Université de Padoue et qui jouit d'une connaissance remarquable de la physique au temps de Galilée. Sauf pour quelques petites réductions et additions, la version est intégrale, y compris la journée supplémentaire de dialogue sur la force de la percussion. De Angelis est attentif au contexte de l'époque et fidèle à la façon dont Galilée s'exprime. Il a eu l'excellente idée d'utiliser des dessins originaux attribués à la main de Galilée lui-même et de n'adopter que les outils mathématiques connus à l'époque. Comme Telmo Pievani le déclare dans sa préface, « cette version est d'une certaine façon une version des *Discours* comme Galilée lui-même aurait pu l'écrire » (p. 8). On ne saurait mieux dire. Il faut aussi louer l'ensemble de notes liées tant au style qu'au contenu.

Nous retrouvons dans *Les deux nouvelles sciences* les trois personnages que Galilée avait mis en scène dans son *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*. Deux avaient été ses grands amis : le Florentin Filippo Salviati (1583-1614) et le Vénitien Giovanfranceco Sagredo (1571-1620). Le troisième, l'aristotélicien Simplicio, est un caractère fictif qui s'était rendu ridicule dans le *Dialogue sur les deux plus grands systèmes du monde*, mais qui est traité avec plus d'égard dans *Les deux nouvelles sciences*. Dans leur discussion, les trois amis se penchent sur un texte écrit par un académicien qui a enseigné à Padoue, clairement Galilée. Le texte qu'ils citent est rédigé en latin et le ton de voix est formel. Pour clarté, De Angelis l'a transcrit en caractères italiques. Dans le jour additionnel sur la force de la percussion, qui traite de la façon dont le mouvement est communiqué par une force impulsive à un corps, Simplicio est absent et est remplacé par Paolo Aproino de Trévise qui avait été un étudiant de Galilée et l'avait aidé dans certaines expériences sur le mouvement. Contrairement à un traité de mathématiques qui suit la règle selon laquelle chaque proposition doit pouvoir être démontrée avant de passer à la suivante, un dialogue permet à ses participants de renoncer à certaines démonstrations rigoureuses et de les remplacer par des discussions accessibles à une plus grande communauté de chercheurs.

Les deux nouvelles sciences dont il est question sont la science des matériaux, principalement liée à la science de la construction, qui est discutée dans les deux premiers jours, et la mécanique, qui est adressée dans le troisième et le quatrième jours. Dans le jour additionnel, la discussion porte sur la force de percussion et l'origine du mouvement, à savoir la façon dont le mouvement est transmis à un corps. L'impact des *Deux nouvelles sciences* fut

décisif comme le reconnaît Newton dans ses *Principia* où il attribue à Galilée non seulement la paternité de la première loi de la dynamique — le principe d'inertie —, mais aussi sa contribution à la seconde, qui établit la proportionnalité entre la force et l'accélération. *Deux nouvelles sciences* discute, entre autres, le principe d'inertie, la description du mouvement de la chute des corps, l'observation que des corps de poids différents tombent avec la même accélération dans le vide, la démonstration de l'isocronisme des oscillations du pendule, la preuve du mouvement parabolique des projectiles ainsi que des considérations innovatrices relatives à l'acoustique et à la musique. Pour la première fois, des expériences sont conçues et réalisées pour tester des hypothèses.

En italien, l'ouvrage se lit *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno a due nuove scienze attenenti alla mecanica & i movimenti locali*. Dans ce titre, le mot « mathématiques » nécessite une clarification qu'apporte De Angelis . Bien que l'ouvrage parle de la nature en langage mathématique, Galilée, comme Newton, manipulait les formules algébriques de manière limitée, et utilisait la géométrie euclidienne à la place. Dans son *Saggiatore* (*L'essayeur*) de 1623, Galilée avait déclaré que l'univers est un livre qui est continuellement ouvert à nos yeux, mais qu'on « ne peut le comprendre si l'on ne s'applique d'abord à en comprendre la langue et à connaître les caractères avec lesquels il est écrit. Il est écrit dans la langue mathématique et ses caractères sont des triangles, des cercles et autres figures géométriques, sans le moyen desquels il est humainement impossible d'en comprendre un mot »[1]. Mais il ne faut pas chercher chez Galilée des formules comme $F = ma$ et $E = mc^2$ qui sont au cœur de la physique aujourd'hui, car l'approche algébrique et analytique qui a été introduite par Descartes ne lui était pas familière. Il est intéressant de noter qu'ayant choisi une présentation sous forme de dialogue, Galilée a pu contourner, à l'occasion de certaines démonstrations, un formalisme qu'il n'était pas en mesure de développer de façon rigoureuse à cause de l'insuffisance des mathématiques avant l'invention du calcul différentiel. Le lecteur désireux de se pencher sur l'original italien ne sera pas déçu car il trouvera, entre parenthèses carrées, des références à la pagination du volume VIII de l'édition nationale d'Antonio Favaro.

Il faut se réjouir qu'Alessandro De Angelis ait fait connaitre, en version moderne et de façon très agréable, une œuvre fondamentale dans l'histoire de la physique.

William. R. Shea
Université de Padoue

Shea (William R.), *Ce que Galilée dit à Milton : dialogue entre le savant et le poète*. – Paris : Les Belles Lettres ; Montréal : Éditions Liber, 2021. – 102 p. – 1 vol. broché de 15 × 20 cm. – 17,00 €. – isbn 978-2-251-45230-2.

Quel merveilleux petit livre et, surtout, quel exemple ! Parce qu'elle n'est souvent qu'une façon commode de s'affranchir délibérément des exigences de la science ou d'avouer, à demi-mot, n'avoir pas été capable de les respecter, la vulgarisation a mauvaise presse. Serait

1. Galilei, G. (1980). *L'essayeur* (édité, présenté et traduit par Chr. Chauviré). (Annales littéraires de l'Université de Besançon ; 234). Paris : Société d'édition « Les Belles Lettres ». Ici, p. 141.

nécessairement de la vulgarisation ce qui ne mérite pas d'être qualifié de science, comme si la vulgarisation n'avait pas ses exigences propres, comme si tout un chacun, à tout moment de son parcours professionnel, était capable d'en produire. Pourtant, pour réussir cet exercice aussi hautement nécessaire que particulièrement risqué, il faut — nous l'avons toujours pensé — être un savant. Un savant arrivé à une telle maîtrise de son sujet qu'il peut se permettre de tout « oublier » pour aller enfin à l'essentiel. Et qui le peut parce qu'il est devenu son personnage, parce qu'il est capable de raisonner comme lui, parce qu'il lui arrive même de se surprendre à se mettre à écrire comme lui. Assurément, ce n'est pas en quelques semaines ni en quelques mois qu'un tel état d'« intelligence sympathique »[1] peut être atteint. La bonne vulgarisation, la seule qui nous intéresse et que l'on rencontre si rarement, n'est donc pas le fait de celui qui ne sait pas faire de la science, ou qui ne sait pas *encore* en faire, mais de celui qui en a tellement fait qu'il est parvenu à cet état d'ignorance savante qui le rend apte à se mettre au service du savoir ordinaire. Le livre que nous avons entre les mains semble nous donner raison ! On n'y trouve rien, absolument rien de tout ce que la science réclame : des notes, des équations, des citations correctement référencées, une bibliographie à jour et exhaustive[2]… Et pourtant, c'est sans la moindre importance ! On y trouve tout ce qui donne une allure de vulgarisation : des encarts explicatifs et des illustrations… Et cependant, ce vernis est parfaitement inutile : le texte se suffit amplement à lui-même.

Prenant prétexte de la visite que réserva le jeune Milton à Galilée, l'auteur nous présente tout d'abord les deux interlocuteurs : une petite trentaine de pages pour l'illustre Florentin ; cinq pour celui qui allait passer à la postérité comme l'immortel auteur du *Paradis perdu*. Sur plus d'une cinquantaine de pages, il imagine alors le dialogue qui, à cette occasion, a été le leur. Mieux, comme l'indique parfaitement le titre, il conçoit « ce que Galilée dit à Milton » — et, avouons-le, qu'il aurait pu tout aussi bien dire à peu près à n'importe qui ! Et voilà donc le vieil homme occuper à parler de ses obligations familiales et professionnelles, de son goût pour le bon vin, de ses inventions techniques, du confinement qu'il a subi à cause de la peste, des horoscopes qu'il a dressés, de la chute des corps, de ses préférences artistiques et, inévitablement, de son procès… Au terme de cette conversation impromptue, c'est donc tout Galilée, et même un peu plus, qui a été présenté au lecteur, de sorte que celui-ci est capable de s'en faire une image aussi complète qu'intime. C'est la même impression qu'avait suscitée naguère en nous la lecture de la *Vita e opere di Galileo*

1. Expression utilisée par Alexandre Koyré à propos d'Anneliese Maïer. Cf. Koyré, A. (1951). Compte rendu d'Anneliese Maïer : « Die Vörläufer Galileis im 14. Jahrhundert : Studien zur Naturphilosophie der Spätscholastic » (1949). *Archives internationales d'histoire des sciences*, 4(16), 769-783. Ici, p. 770. Pour désigner la méthode historique koyréenne, Herbert Spiegelberg parlait lui d'« *empathic understanding* ». Cf. Spiegelberg, H. (1982). *The Phenomenological Movement : A Historical Introduction* (with the collaboration of K. Schuhmann ; third revised and enlarged edition). (Phaenomenologica ; 5-6). The Hague ; Boston ; London : Martinus Nijhoff publishers. Ici, p. 239.
2. On n'y trouve pas l'ouvrage de référence sur Milton et la révolution scientifique, à savoir : Danielson, D. R. (2014). *« Paradise Lost » and the Cosmological Revolution*. New York : Cambridge University Press.

Galilei de Pio Paschini[1], à ce détail près que ce dernier ouvrage fait plus de 700 pages alors que celui dont nous parlons en fait moins d'une centaine !

Pour la forme, un petit détail. Dans la phrase suivante, « La Bible a été dictée par le Saint-Esprit et la science est "l'exécutrice très fidèle des ordres de Dieu" » (p. 27), le mot « science » serait avantageusement remplacé, conformément au texte original[2], par celui de « nature ». En effet, c'est parce que le livre de la nature, dans son existence et dans son contenu, est radicalement indépendant de toute intervention humaine — contrairement à ceux de la Bible et de la science — qu'il fut jugé, par certains, particulièrement digne de retenir leur attention. Mettre en parallèle la Bible et la science (et non la nature), c'est donc gommer une différence remarquée.

Écrit par un spécialiste dont nous rappellerons seulement que son *Galileo's Intellectual Revolution : Middle Period 1610-1630* paru en 1977 — ce que l'on voudra bien mettre en relation avec le parcours professionnel que nous évoquions tout à l'heure —, cet ouvrage brille par une écriture accessible, dont les spécialistes apprécieront toutefois la précision ; par de petits détails suggestifs et peu connus, que seule la familiarité de toute une vie peut fournir ; par un esprit de synthèse, qui ne sacrifie jamais la complexité des problèmes abordés ; et même par un beau sens de la formule[3]. Un livre, donc, qui constitue la promesse d'une belle soirée !

Jean-François Stoffel
Haute école Louvain-en-Hainaut

Camerota (Michele) - Ottaviani (Alessandro) - Trabucco (Oreste), *Lynceorum historia : le « Schede lincee » di Martin Fogel*. – Rome : Bardi edizioni, 2021. – 548 p. – 1 vol. relié de 18 × 27 cm. – 35,00 €. – isbn 978-88-1214-9.

L'*Academia Lynceorum* ou *Accademia dei Lincei* fut fondé en 1603 par le prince Federico Cesi et deux amis qui choisirent comme emblème le lynx blanc à qui on attribuait une vue particulièrement perçante. Galilée en devint membre en 1611 et, à partir de cette date, le lynx blanc de l'académie ornera le frontispice de tous ses ouvrages.

La création de cette académie est l'un des moments forts de la révolution scientifique, car elle est à l'origine des sociétés savantes et des réseaux de correspondants initiés. La Royal Society of London verra le jour en 1662, l'Académie royale des sciences en 1666 et l'Akademie der Wissenschaften de Berlin en 1700. Il n'est donc pas surprenant que ces institutions se soient intéressées à leur origine. Dès la première année de la publication des *Philosophical Transactions*, dans le fascicule qui parut en mars 1667, le Secrétaire de la Royal Society,

1. Paschini, P. (1965). *Vita e opere di Galileo Galilei* (2e edizione corretta / prefazione di M. Maccarrone ; nota bibliografica di E. Lamalle). Roma : Casa editrice Herder.
2. *Lettre de Galilée à Benedetto Castelli du 21 décembre 1613*, p. 282, dans Galilei, G. (1895). *Le opere di Galileo Galilei*, vol. 5 (direttore : A. Favaro), Firenze : Tipografia di G. Barbèra. Il s'agit bien sûr d'une distraction comme en témoigne l'utilisation, en d'autres endroits, du terme adéquat (p. 44 et p. 78).
3. Par exemple, p. 20 (pour les satellites de Jupiter) ou p. 36 (pour l'« affaire » Galilée).

Henry Oldenburg, annonçait comme imminente la parution d'une histoire de l'*Accademia dei Lincei* et ajoutait que le nom de l'auteur n'était pas encore connu. Ses renseignements provenaient presque certainement de son correspondant habituel l'huguenot Henri Justel, un protagoniste de la *République des lettres* qui, pour ne mentionner que quelques noms, était en relation avec Pierre Bayle, John Locke et Gottfried Wilhelm Leibniz. Dès 1665, Oldenburg avait informé Robert Boyle qu'il avait reçu de Paris une lettre, rédigée en français, « qui parlait de l'établissements de cete Académie, de ses Statuts, des desseins du Prince Cesi, qui en étoit le Chef, et *qui voulait établir des sociétés pour toute le Monde même en Afrique et en Amérique, afin que d'estre bien informé de ce qui se trouve dans ces pais là !* » (p. 20).

Il s'avère que cet auteur inconnu et méconnu est un certain Martin Fogel et c'est avec acribie que Michele Camerota, Alessandro Ottaviani et Oreste Trabucco se sont mis à sa poursuite. Né à Hambourg en 1634, Martin Fogel fit ses études dans cette ville sous Joachim Jungius dont il devint plus tard le collaborateur et l'héritier. Il passa une bonne partie de sa vie à revoir les textes inédits de son maître et à les faire publier. En 1653, Fogel se rendit à Giessen où il s'inscrit à la faculté de théologie. Plus tard, il se déplaça à Strasbourg pour y poursuivre ses études. En 1662, il entreprit, avec son ami Martin Wevetzer, un *Bildungreise* qui durera près de cinq ans. En 1663, ils s'arrêtent à Padoue où Fogel s'inscrit à la faculté de médecine et obtient son doctorat la même année, preuve de la facilité avec laquelle on pouvait se pourvoir d'un titre, moyennant contribution financière. Mais Fogel était loin d'être indolent. Véritable rat de bibliothèque, il avait pour passion les nombreuses collections de livres et de documents de toute sorte que l'on trouvait alors en Italie. Il lisait tout ce qui lui tombait sous la main et copiait des pages entières.

Les compagnons poursuivirent leur voyage culturel et s'arrêtèrent pendant plusieurs jours à Bologne, à Rome et à Naples. À leur retour, ils passèrent par Florence, Pise et Milan avant de se rendre à Lyon, Montpellier, Toulouse, le nord de l'Espagne et enfin Paris où ils séjournèrent pendant huit mois. L'escale romaine est particulièrement importante puisque c'est là que Fogel put prendre connaissance de l'héritage des Lincei et se munir d'une foule de notes précieuses avec, peut-être déjà, l'intention de rédiger un ouvrage. Ces notes sont publiées pour la première fois par Michele Camerota et ses collègues. Leur travail d'érudition est exceptionnel. Grâce à leurs commentaires sur les us et coutumes de l'époque ainsi que sur la vie et les œuvres des personnes que Fogel fréquenta, nous découvrons des aspects de la République des lettres qui font mieux comprendre la nouveauté et la richesse des échanges entre savants. Un exemple entre plusieurs autres : en avril 1666, comme Fogel se préparait à quitter Paris, André Graindorge écrit à Pierre-Daniel Huet avec lequel il avait fondé l'académie de physique de Caën : « J'ai bien chargé un très-galant homme de Hambourg de vous rendre visite. Il s'appelle Fogle ou Vogel. Il a vu l'Italie, l'Espagne et la France avec l'esprit d'un allemand et est rempli de toutes les connaissances qui regardent les bonnes aussi bien que les belles. Il a bien de la candeur et il n'a pas besoin de recommandation pour être bien reçu de vous. Il est philosophe, médecin, chymique, mathématique, curieux de livres et de tout ce que l'on peut savoir. Je l'ai fort régalé de vous à Rouen, où il séjournera quelque temps. » (p. 48).

Fogel entendait bien rédiger une histoire des *Lincei*, mais il se laissa distraire par une foule de choses dont les relations entre le hongrois et le finlandais. En 1669, il envoya au Grand-Duc Côme III un essai intitulé *Nomenclator Latino Finnicus* dans lequel il déclare avoir été le premier à étudier l'affinité entre le hongrois et le finlandais. On lui reconnaît aujourd'hui le mérite d'avoir composé un vocabulaire qui témoigne des ressemblances entre les deux langues. Il ne négligera pas la philosophie, la chimie ou la botanique, mais c'est à la médecine qu'il consacra la majorité de son temps jusqu'à sa nomination comme professeur de logique et de métaphysique au Gymnase de sa ville natale. Il ne put exercer son nouveau rôle que pour un bref moment, car après avoir été nommé le 25 février 1675, il décéda le 25 octobre 1676 à peine âgé de quarante et un ans. En 1678, sa très riche bibliothèque, ainsi que ses manuscrits, fut acquise, sur recommandation de Leibniz, par le duc de Hanovre. Les pages consacrées à l'Accademia dei Lincei sont reproduites pour la première fois dans ce volume avec une profusion de notes érudites. Les chercheurs y trouveront une véritable mine d'information sur un grand nombre de figures de proue.

William R. Shea
Université de Padoue

Newton (Isaac), *The Mathematical Principles of Natural Philosophy* / traduit et annoté par C. R. Leedham-Green. – Cambridge : Cambridge University Press, 2021. – xlvi + 743 p. – 1 vol. relié de 21 × 26 cm. – isbn 978-1-107-02065-8.

Les *Principia Mathematica* d'Isaac Newton est sans conteste un des textes les plus importants de l'histoire des sciences. Pourtant, s'il est d'un intérêt historique de premier plan, il reste peu lu par les premiers intéressés, les physiciens. La raison en est simple : c'est un texte extrêmement dense, exprimé dans un langage mathématique qui n'a plus cours aujourd'hui et structuré selon la méthode des preuves géométriques héritée d'Euclide. Tout apprenti physicien se doit de connaître la mécanique newtonienne, mais il se tournera plutôt vers l'un des nombreux manuels modernes qui utilisent des mathématiques plus adaptées[1] aux problèmes rencontrés et une terminologie centrée sur un nombre plus restreint de notions fondamentales. Cela montre, si besoin est, combien notre compréhension des concepts newtoniens a fortement évolué depuis Newton.

Dès lors, quel peut être l'intérêt d'une nouvelle traduction ? En quoi cette version traduite par C. R. Leedham-Green (basée sur la troisième édition de 1726) diffère-t-elle de la traduction, considérée comme canonique, établie par Cohen et Whitman en 1999 ?

La réponse est donnée par le traducteur lui-même dans sa préface : il ne s'agit en aucun cas de se faire l'adversaire de la traduction de référence en langue anglaise, mais au contraire d'en proposer une version complémentaire. Le but n'est ni de régler les éventuels

1. Sans parler de la question des formulations lagrangienne et hamiltonienne de la mécanique classique, l'invention du calcul différentiel et de tous les outils formels qui en découlent change drastiquement la manière d'approcher la physique newtonienne. L'expression purement euclidienne des problèmes physiques abordés dans les *Principia* est d'ailleurs une des premières difficultés qui freinent le lecteur moderne, plus habitué à raisonner en termes de vecteurs et de fonctions.

problèmes de la traduction précédente[1] ni d'en améliorer des passages, mais de proposer un autre éclairage sur le texte de Newton.

En effet, la version de 1999 était destinée aux historiens et visait en premier lieu la précision linguistique, c'est-à-dire à être le plus proche possible du texte latin, quitte à rendre le contenu physique et mathématique parfois peu clair. Leedham-Green se propose ici de faire le chemin inverse : conscient que moderniser la pensée et moderniser le style sont deux choses différentes, il cherche à rendre le contenu scientifique compréhensible, quitte à s'éloigner du texte d'origine et à risquer quelques imprécisions linguistiques.

En revanche, chacune de ces imprécisions sera commentée, afin d'éviter toute ambiguïté. Par exemple, dès la préface, le traducteur défend l'un de ses choix et explique sa démarche :

> « I have very seriously avoided following the practice of Cohen & Whitman. I will not translate *constanter* as "constantly" when Newton means "monotonically". However, I do tell the reader that "monotonically" is a translation of *constanter*, I explain how the subsequent argument requires this meaning, and I explain why Newton is content to consider monotonic functions in the given context. » (p. XIII).

C'est là le principal atout de cet ouvrage : pour la première fois, le texte de Newton est rendu accessible aux mathématiciens et physiciens contemporains, tout en conservant le style originel et la structure de l'argumentation.

Autrement dit, Leedham-Green tente avec sa traduction de rester le plus fidèle possible au texte d'origine tout en modernisant les concepts techniques. Le résultat est un texte plus facile à lire que la traduction de 1999, et surtout plus précis et fiable sur les questions mathématiques et physiques. En cela, l'ouvrage comble un vide : les *Principia* peuvent désormais être plus aisément étudiés pour leur contenu scientifique.

En plus du texte traduit, l'ouvrage contient un grand nombre d'annotations qui guident la lecture et éclaircissent certains points. Les choix de traduction sont longuement discutés et font parfois l'objet de développements d'un grand intérêt non seulement linguistique, mais aussi philosophique. Par exemple, le traducteur pointe une difficulté particulièrement complexe à laquelle il a dû faire face : dans la traduction de 1999, trois termes presque synonymes sont utilisés (« compression », « pression » et « vis ») là où il n'en existe plus que deux dans la terminologie actuelle (« force » et « pression »). Situation extrêmement complexe : comment faire comprendre au mieux les très légères différences

1. Bien entendu, aucune traduction n'est parfaite et certains choix de la version de 1999 sont ici remis en question. Il est d'ailleurs intéressant de constater qu'ils le sont quand ils mènent à des incohérences logiques plutôt que pour des raisons linguistiques. Par exemple, quand une erreur d'article peut porter préjudice à la validité d'un raisonnement ou d'une preuve : *la* parabole (donnée) et *une* parabole (quelconque) n'ont pas du tout le même statut dans une démonstration. Parfois, des désaccords plus importants émergent, et dans ce cas, Leedham-Green tente de les résoudre en se référant à d'autres traductions que celle de 1999 (cette dernière reste cependant son point de comparaison principal).

linguistiques présentes à l'origine tout en se restreignant à l'usage moderne de ces termes ? Dans ce cas de figure comme dans bien d'autres, une note accompagne le texte, explicite les choix opérés, allant parfois jusqu'à comparer les passages en question avec d'autres traductions.

En effet, l'intérêt de ces annotations ne se limite pas à la problématique purement technique de la traduction. Un appendice est consacré à des problèmes qui ont des implications philosophiques, et dont le plus connu est probablement celui qui entoure les notions de masse, de force et d'inertie : ces termes sont recouverts par toute une constellation de concepts que Newton distingue (« *conatus* », « *vis inertiae* », « *vis insita* », « *vis absoluta* », « *vis acceleratrix* » et « *vis motrix* »), mais y a-t-il une similarité empirique ou épistémologique qui justifie la réduction du nombre de concepts utilisés ? Ce sont là des questions qui intéresseront le philosophe des sciences.

La présence de telles explications soulève aussi des questions d'ordre métaphysique. Par exemple, l'utilisation du passif dans la version originale peut être interprétée comme l'introduction d'un agent causal doté de volonté : « la Terre est tournée autour du Soleil » plutôt que « la Terre tourne autour du Soleil ». Là encore, les ambiguïtés sont levées et les influences stylistiques qui mènent Newton à user de la voix passive dans ces cas précis sont expliquées (un appendice traite spécifiquement de l'influence de Cicéron sur le latin de Newton).

D'autres ambiguïtés, moins capitales pour la compréhension, peuvent aussi se glisser dans la traduction. Un exemple amusant en est donné dans le scolie de la proposition 40 du livre II :

> « "I prepared a rectilinear wooden vessel". The verb here is *paravi*, which could equally mean "I obtained" ; it is unclear here, and with the wooden vessel of Experiment 4, whether Newton is claiming to have constructed the vessels, or simply to have obtained them. » (p. 394).

En plus des précisions linguistiques et historiques, les annotations contiennent des développements mathématiques qui visent à éclaircir certains des raisonnements menés par Newton. Le traitement moderne des problèmes abordés y est expliqué, ce qui permet non seulement de comprendre le détail de la discussion géométrique, mais aussi d'apprécier la manière dont certains outils mathématiques utilisés aujourd'hui ont justement été inventés pour simplifier ces problèmes. Deux appendices sont d'ailleurs dédiés aux notions de base de la géométrie euclidienne et du calcul différentiel.

En conclusion, il résulte de tous ces ajouts la possibilité d'avoir un regard plus clair sur ce texte fondateur de la physique. Le paradigme de traduction choisi guidera au mieux le lecteur dans sa découverte d'un monument de l'histoire des sciences, et cette nouvelle édition, armée de ses annotations et appendices explicatifs, constitue un document aussi pertinent que passionnant pour toute personne intéressée par le sujet.

Antoine Brandelet
Université de Mons

The Oxford Handbook of the History of Modern Cosmology / edited by Helge KRAGH and Malcolm S. LONGAIR. – Oxford : Oxford University Press, 2019. – 640 p. – 1 vol. électronique. – 96.78 €. – isbn 978-0-19-254997-6.

Cet ouvrage est appelé à devenir une référence incontournable pour toute personne s'intéressant à l'histoire de la cosmologie contemporaine. Écrit par les meilleurs spécialistes du domaine, il permet de suivre l'invention progressive des modèles théoriques d'univers, mais aussi les développements des instruments qui ont rendu possible l'acquisition des données d'observation par lesquelles certains de ces modèles ont été validés. L'ouvrage donne aussi des indications sur les contextes institutionnels, historiques, sociaux et politiques précis dans lesquels les recherches cosmologiques ont vu le jour et qui en ont parfois déterminé l'orientation. De belles illustrations et photos viennent rehausser ce livre d'une grande qualité technique et pédagogique.

Dans un premier chapitre, « Cosmological theories before and without Einstein », Helge Kragh, professeur d'histoire des sciences au *Niels Bohr Institute* de l'Université de Copenhague, décrit une période qui s'étale de 1860 à 1910 durant laquelle les idées et réflexions sur le cosmos ne forment pas encore, comme telle, une branche de la physique soutenue par des observations précises et solides.

Dans le deuxième chapitre, « Observations and the universe », Robert W. Smith, professeur d'histoire des sciences à l'Université d'Alberta au Canada, nous dépeint, en détails, ce moment crucial où les premières données parviennent des observatoires astronomiques des USA concernant le décalage vers le rouge des « nébuleuses » lointaines (V. M. Slipher) et leurs distances (E. Hubble). Cette période, qui voit se résoudre le « Grand Débat » relatif aux dimensions de l'univers, va constituer l'assise observationnelle fondant l'idée d'un univers en expansion, dont la description sera offerte par les solutions des équations d'Einstein de la relativité générale. Ces différents modèles, issus des travaux d'Einstein, de Sitter, de Friedmann, Lemaître, Robertson, Tolman, etc., sont décrits dans un troisième chapitre « Relativistic models and the expanding universe », rédigé par Matteo Realdi, professeur d'histoire de l'astronomie à la Vrije Universiteit Amsterdam.

Dans un quatrième chapitre, « Alternative cosmological theories », Helge Kragh nous livre une description intéressante et souvent méconnue des modèles d'univers proposés à partir des années 1920 et qui se démarquent de ceux de la relativité générale (celui de la « cosmologie cinématique » de E. A. Milne par exemple) ou qui en constituent des modifications. Kragh y décrit également l'introduction de cette idée que les constantes de la nature pourraient varier.

Dans le chapitre suivant, « Steady State theory and the cosmological controversy », Helge Kragh rend compte, de manière très éclairante, de l'opposition, qui s'étendra de 1948 environ à 1965, entre la cosmologie de Lemaître (1931) et de Gamow, où l'âge de l'univers est fini, et celle proposée par Hoyle, Bondi et Gold, dans laquelle l'univers est en expansion, sans commencement ni fin dans le temps. Cette opposition prendra fin lors de la découverte du rayonnement cosmologique de fond (CMB, *Cosmological Microwave Background*), en 1965, par Penzias et Wilson.

Dans deux chapitres, le sixième, « Observational and astrophysical cosmology: 1940-1980 » et le dixième, « Observational and astrophysical cosmology : 1980-2018 », Malcom S. Longair, professeur de *Natural philosophy* au Cavendish Laboratory de l'Université de Cambridge (UK), prolonge l'histoire décrite dans le deuxième chapitre, en détaillant d'abord les développements de la cosmologie observationnelle et de l'astrophysique entre 1940 et 1980. Cette partie s'intéresse aussi à la formation des grandes structures, au rôle joué par la radioastronomie et à l'origine des travaux sur l'analyse des fluctuations du CMB. L'histoire de la découverte du CMB et de son étude, de 1965 à nos jours, fait elle-même l'objet du huitième chapitre, « The cosmic microwave background : from discovery to precision cosmology », écrit par R. Bruce Patridge, professeur d'astronomie à *Haverford College* aux USA. Dans la partie consacrée par Longair à la cosmologie observationnelle et astrophysique entre 1980 et 2018, on trouvera non seulement des considérations relatives au développement des détecteurs et des télescopes, mais aussi aux mesures qui ont conduit à préciser la valeur de l'âge de l'univers, de la constante cosmologique et, par-là, de l'accélération actuelle de l'univers (à partir d'une observation des *supernovae*). On y trouvera aussi des considérations sur la manière dont s'est approfondie la connaissance de la nucléosynthèse primitive et l'étude de la formation des galaxies et des grandes structures.

Dans le septième chapitre, « Relativistic astrophysics and cosmology », Malcom S. Longair nous offre une étude des liens étroits entre la cosmologie et l'astrophysique. Il y évoque les découvertes des quasars, des pulsars, des sources lointaines de rayonnement gamma à haute intensité (« *Gamma ray bursts* »), mais aussi les tentatives menées pour détecter les ondes gravitationnelles (aboutissant à la fameuse expérience LIGO).

Dans le onzième chapitre, « Inflation, dark matter, and dark energy », Malcom S. Longair et Chris Smeenk (professeur associé d'histoire et de la philosophie de la physique à l'Université de Western Ontario au Canada), nous décrivent ces concepts qui ont été progressivement introduits pour répondre à des questions laissées ouvertes par les modèles d'univers relativistes : pourquoi l'univers est-il homogène et isotrope ?, comment expliquer les caractéristiques étonnantes de la rotation des galaxies ?, comment expliquer l'accélération actuelle de l'univers ?... Les idées d'inflation, de matière noire non-baryonique, d'énergie noire... sont ainsi resituées au sein de l'histoire de la cosmologie. Enfin, dans le chapitre « Stranger things : multiverse, string cosmology, physical eschatology », Milan M. Cirkovic, professeur à l'Observatoire astronomique de Belgrade en Serbie, jette un regard sur ces modèles spéculatifs issus des tentatives pour quantifier la gravitation (cosmologie des cordes, multivers...) et qui permettent d'éviter la singularité initiale, ouvrant à une histoire cosmologique précédant le Big-Bang. Le chapitre s'intéresse également à ce principe qui n'en est en réalité pas un, le « principe anthropique » introduit en 1974.

Deux chapitres très intéressants apportent une note un peu différente à l'ouvrage. Il s'agit du neuvième chapitre : « Space science and technological progress : testing theories of relativistic gravity and cosmology during the Cold War ». Silvia De Bianchi y décrit, d'après des archives originales, la cosmologie, après la seconde guerre mondiale, en montrant combien son développement doit à la compétition entre l'URSS et les USA, ainsi qu'aux innovations technologiques suscitées par la guerre froide, en particulier en ce qui concerne la recherche spatiale. Il s'agit ensuite du chapitre conclusif, « Philosophical as-

pects of cosmology », écrit par Chris Smeenk. Ce dernier montre combien la cosmologie ne peut se départir d'interrogations fondamentales — on le voit dans les controverses relatives au « commencement » de l'univers, souvent confondue, à tort, avec celle d'origine métaphysique ou théologie du monde ; ou bien dans les discussions sur le « principe anthropique » qui réactive des débats relatifs à la question de la finalité —, mais aussi de questions épistémologiques — quel est le statut de la cosmologie ? comment définir des modes pertinents de validation des scénarios cosmologiques ?...

Vu la richesse et le spectre étendu de ses contenus, on ne peut que recommander ce splendide ouvrage à toutes les personnes — scientifiques, philosophes ou théologiens — qui cherchent à comprendre, en détails, l'histoire de la cosmologie physique ainsi que les questions techniques et fondamentales dont elle est porteuse.

Dominique Lambert
Université de Namur

Mathematical Communities in the Reconstruction After the Great War 1918-1928 : Trajectories and Institutions / edited by Laurent Mazliak and Rossana Tazzioli. – Bâle : Birkhäuser, 2021. – 379 p. – 1 vol. relié de 23 × 15,50 cm. – 105,99 €. – isbn 978-3-030-61682-3.

Dans la collection *Trends in the History of Science*, chez Birkhäuser, une collection dédiée à des textes issus d'ateliers et de conférences dans tous les domaines des recherches en cours en histoire des sciences, principalement des sciences mathématiques et physiques, vient de paraître un gros recueil singulier, composé de onze interventions. Il touche un sujet passionnant, la reconstruction des communautés mathématiques après la Grande Guerre, c'est-à-dire — faut-il le préciser — la guerre mondiale de 1914 à 1918. Et le livre attaque sur deux fronts juxtaposés, celui des institutions et celui des biographies joliment appelées « trajectoires ». Le mot « reconstruction » ne justifie pourtant pas que l'Europe et l'Amérique du Nord soient seules concernées, avec une limitation de fait non vraiment respectée, la période 1918-1928. L'Amérique latine (avec l'influence du positivisme au Brésil par exemple et son appui un peu ubuesque sur une réédition du *Traité élémentaire de géométrie analytique à deux ou trois dimensions* d'Auguste Comte), le Japon, la Chine ou l'Inde ne sont pas ici envisagés. C'est un choix malheureux, et il tient au fait qu'en dehors de deux articles très bienvenus sur la Pologne et l'école de Banach et Tarski, le fond de l'ouvrage tourne autour de la réintégration des germanophones dans la « communauté » internationale des mathématiciens, une communauté concrétisée par le premier congrès international de 1897 en Suisse, suivi de plusieurs autres jusqu'en 1912. Cette communauté fut officiellement brisée par la décision de tenir le congrès de l'après-guerre en 1920 à Strasbourg, ville française récupérée sur l'Allemagne, en excluant formellement les mathématiciens et mathématiciennes des puissances centrales défaites en 1918. Le terme retenu de 1928 correspond donc à la tenue du congrès international à Bologne et « au retour de relations scientifiques normales » comme il est dit dans la courte introduction au volume (p. viii), titrant sur les « tonitruantes » années vingt pour les mathématiques. Prudemment, l'introduction ajoute que la situation apaisée de ce « retour » ne dura pas longtemps. Le butoir de 1928 évite au recueil ici décrit d'avoir à parler de l'effet du fascisme

italien, et en général des totalitarismes sur les mathématiques quoiqu'il soit discuté de quelques effets sur quelques-uns de leurs pratiquants. C'est encore dommage, d'autant que, par définition, un totalitarisme, doublé de nationalisme, ne peut qu'avoir des répercussions sur la place des sciences mathématiques dans la vision du monde, dans l'éducation, etc. Je me souviens d'un très intéressant colloque tenu à Barcelone, organisé par Antoni Malet, sur les mathématiques dans les régimes non démocratiques. Et il y a le livre édité en 2018 par Luis Saraiva : *Mathematical Sciences and 20th Century Dictatorships*. Mais ne discutons pas plus, car l'ouvrage est ainsi conçu et il convient de le prendre comme tel, en espérant qu'une suite pourra être donnée, couvrant par exemple dans leurs aspects internationaux la période 1928-1939, voire les reconstructions après 1945.

Car le fond du livre est bien là. Il s'agit moins de reconstructions locales de telle ou telle communauté nationale, en dehors certes du cas polonais déjà bien documenté, mais ici une nouvelle fois présenté avec succès, que des liens que cette communauté entretient plus ou moins bien avec les structures internationales, voire tout simplement avec le monde étranger à cette communauté. Et le débat, ici non vraiment soulevé, est celui de la reconnaissance de fait d'un monde mathématique autonome, car professionnalisé, et qui aurait une possible influence idéologique sur les politiques internationales des États. Avec l'idée que toute « reconstruction », tel est bien le titre du livre, serait au fond dépendante de seuls groupes mathématiciens. Ou encore comme si le « pacifisme », marqué chez des individualités (Bertrand Russell à Cambridge étant le cas par excellence, étudié de près par Hardy) ou dans des groupes (dans les syndicats enseignants en France, avant et après la Première Guerre mondiale), ne dépassait pas et de loin les mathématiques. À propos d'une étude très fouillée sur les archives, et qui vient en premier de Young comme « président non conventionnel de l'Union mathématique internationale », Guillermo P. Curbera énonce sans aller plus loin et sans donner de preuves, qu'à son avis, « il est hautement improbable que les élites des institutions scientifiques des Alliés aient agi sans lignes de direction ou sans approbation des niveaux politiques les plus élevés ». Mais la question n'est-elle pas plus de déterminer, ou plutôt d'instruire, l'action de ces élites, par exemple dans les Académies des sciences, alors même que leurs représentants, ou plutôt — car le dire ainsi est mal exprimé en donnant l'impression qu'il y avait une délégation de pouvoir — que certaines personnalités parmi ces élites sont directement politiques ou liées de près à un monde politique. Faut-il tenir pour seulement rhétorique qu'Émile Picard salue, en 1917 à l'Académie des sciences, un secrétaire d'État américain à la défense parce qu'il est mathématicien alors que les États-Unis viennent d'entrer en guerre ? Pour le dire plus crûment encore, faut-il considérer le positivisme comme en dehors du sujet de ces « reconstructions » ?

Je ne peux donc que reprendre ici une recension de Gert Schubring, il y a dix ans, à l'occasion de la publication en 2009 de la correspondance de Volterra avec Borel, Hadamard et Picard, sortie dans *Historia Mathematica* 39 (2012), pp. 335-336. Il y était constaté : « au niveau micro, cette édition fournit un regard sur le comportement de mathématiciens en Italie et en France pendant la Première Guerre mondiale, mais manque l'occasion de l'interpréter dans le contexte plus large de la nouvelle mobilisation des savants au service de leurs états respectifs ». C'était un déficit d'histoire qui était constaté.

Dans le cas présent, ce déficit est si l'on veut édulcoré par l'étude remarquable et originale de cas, comme les mathématiques des oscillations non linéaires dans les années 20 par Nicolai Minorski, ou les tribulations d'émigrants russes.

Il est difficile de ne pas dire enfin quelques mots sur la présentation matérielle de ce volume de 363 pages, dans une écriture assez serrée. En gros, la chose apparaît parfaite : les rares formules mathématiques sont très bien données, les références précises et nombreuses après chacun des onze articles et aussi bien de l'introduction. Et les documents d'archives ou les correspondances citées comme la bibliographie attestent qu'il y a eu un travail de fond. On aurait certes pu donner plus de photographies, en tout cas les mettre à peu près toutes au même format, et on s'amuse à lire quelquefois que telle ou telle est dans le « domaine public » : c'est une règle chez Springer pour de tels documents pour éviter tout problème. Ne serait-il pas mieux de dire précisément ce domaine public, le Net ou autre collection privée. La loi est pourtant assez simple à ce sujet, aussi bien pour les archives, lorsqu'il n'y a pas reproduction importante. Il suffit d'attester qu'une demande écrite a été faite aux éventuels ayants-droit, l'absence de réponse dans les quelques semaines valant accord. J'apprécie beaucoup que bien des références soient données dans leur domiciliation électronique comme cela est systématiquement fait dans l'article de Martina Schiavon qui porte sur le Bureau des Longitudes.

On est pourtant surpris par quelques fortes incorrections dans les notes, comme s'il y avait eu absence de relecture. La chose est flagrante pour les citations en français. L'exemple type est la note 45 de la page 20 : « le conseil ne meure pas faute d'activité scientifique reconnue », car l'absence d'une mise au futur du verbe mourir ne permet un sens que par la traduction anglaise : « The Council will die due to lack of recognized scientific activity ». La note suivante écrit : « L'Union doit se prépecaper… ». L'original français d'une lettre de Picard a des consonnes en trop (note 14, page 10). Il y a les erreurs usuelles comme « Agence National de Recherche project » (description d'un article p. 151). Ne lisant pas le polonais, je ne peux donc être sûr de la qualité de la transcription, mais je l'imagine correcte.

Jean Dhombres
Centre national de la recherche scientifique &
École des hautes études en sciences sociales

Andris (Jean) – Rombouts (Jean-Jacques), *Une histoire de la Société belge d'orthopédie*. – Wetteren : Universa Press, 2021. – 233 p. – 1 vol. relié de 21,50 × 30 cm. – 60 €. – isbn 978-9-062-810505.

À l'occasion du centenaire de la fondation de la Société Royale Belge de Chirurgie orthopédique et de Traumatologie (SORBCOT), Jean Andris et Jean-Jacques Rombouts ont publié chez Universa à Wetteren un ouvrage d'histoire retraçant l'évolution de cette Société et de la spécialité médicale qui prend en charge les blessures et les maladies de l'appareil locomoteur. La Société scientifique s'est réunie pour la première fois le 19 novembre 1921 en la salle clinique de l'Hôpital Saint-Jean à Bruxelles. Ce livre illustre la manière dont les chirurgiens belges ont été des pionniers dans le domaine de l'ostéosynthèse des

fractures. Les instruments inventés par Albin Lambotte et Jean Verbrugge restent régulièrement utilisés dans les salles d'opération du monde entier.

Au fil des ans, la Société a évolué, mais elle a continué à se réunir régulièrement et à publier ses travaux dans une revue qui, depuis 1945, se nomme les *Acta Orthopaedica Belgica*. En 1963, la Société nationale s'est divisée en deux branches linguistiques qui se sont fédérées sous le nom d'Orthopaedica Belgica en 1983. Le 27 novembre 2021, la Fédération Orthopaedica Belgica à organisé, au Square à Bruxelles, le Congrès du 100e anniversaire. L'ouvrage a été distribué à tous les participants au Congrès.

Cet ouvrage relié, richement illustré de 233 pages, retrace l'histoire de la Société et précise l'apport de la Belgique à la chirurgie orthopédique mondiale. Il est divisé en cinq parties. La première d'entre elles traite du contexte historique à partir de la bataille de Waterloo, qui a généré de graves blessures. Elle évoque les différentes tentatives qui ont précédé l'utilisation du « plâtre de Paris », promue par Antonius Mathijsen au début du XIXe siècle. Peu avant lui, le célèbre chirurgien napoléonien d'origine belge, Louis Seutin, avait déjà marqué des progrès appréciés dans le monde entier, avec son pansement amidonné. Mais c'est la personnalité d'Albin Lambotte, orthopédiste anversois d'origine bruxelloise, qui a le plus marqué cette évolution. Il fut non seulement l'un des pères fondateurs de la Société belge d'orthopédie, mais encore l'inventeur de nombreux instruments, comme dit plus haut, et l'ardent défenseur d'une technique d'avant-garde pour le traitement des fractures. Les deux guerres mondiales sont ensuite évoquées. Au cours de celles-ci, l'orthopédie a connu des phases de stagnation et des moments de progrès. Ainsi, le docteur Antoine Depage, chirurgien militaire novateur de la Grande Guerre, a favorisé, au sein de son équipe de l'hôpital l'Océan à La Panne, l'éclosion de certaines idées qui contribueront elles aussi à préparer le terrain de l'orthopédie moderne.

Dans sa deuxième partie, le livre retrace les différentes étapes de la naissance et de la croissance de la Société au fil du temps. Les nombreuses réunions scientifiques qui se sont succédé et les débats qui y ont pris place témoignent du haut niveau des préoccupations scientifiques de la Société, toujours au fait des progrès de la spécialité. Il en va de même des congrès, auxquels ont régulièrement pris part d'illustres orthopédistes de la scène internationale. Nombre de ces congrès furent d'ailleurs organisés conjointement avec les Sociétés nationales d'autres pays. Tout cela fut l'œuvre, tout au long du siècle évoqué dans cet ouvrage, d'un bureau dont la vigilance et le dynamisme n'ont cessé de porter leurs fruits. Ces qualités des générations successives de dirigeants se reflètent également dans la revue *Acta Orthopaedica Belgica* citée plus haut, qui constitue une source inépuisable permettant de retracer l'évolution de la spécialité au niveau scientifique. Signalons au passage que des numéros ou dossiers spéciaux y étaient consacrés à des problèmes majeurs du moment.

Le livre retrace ensuite, dans sa troisième partie, le développement de la spécialité et en particulier la naissance des sociétés internationales et des sociétés spécialisées. Tandis que les connaissances et les performances techniques avançaient à grands pas, des sous-groupes spécialisés dans la prise en charge des affections et traumatismes spécifiques de différentes parties du corps ont en effet vu le jour. Au niveau international, plusieurs orthopédistes belges, une fois de plus, ont joué un rôle déterminant dans la fondation et/ou l'animation des sociétés continentales ou mondiales. On peut y voir une reconnaissance de fait de la

qualité de l'orthopédie belge par les cénacles étrangers. C'est dans cette même troisième partie qu'est décrit le rôle de la Société dans l'enseignement et la recherche en Belgique. On peut y lire une description de l'évolution de l'accès à la spécialité tel qu'il s'est construit au cours des années. Les exigences de formation se sont accrues, relevant encore le niveau de compétence des orthopédistes belges. Aujourd'hui, les principales réglementations à ce point de vue sont de portée européenne. Ici encore, les acteurs belges peuvent être fiers de leur contribution à l'élaboration de ces réglementations.

Le rôle de la Société dans la formation des spécialistes et la recherche est exposé. Les axes de cette recherche, tels qu'ils ont été explorés dans les trois grandes écoles francophones d'orthopédie, font ainsi l'objet de la quatrième partie. Cela va des études fondamentales sur la vie de l'os et la réparation des fractures, en passant par la biomécanique et la mise au point de différentes techniques nouvelles. On ne peut passer sous silence la création de banques de greffons osseux et ostéo-articulaires, qui contribuent également à la renommée internationale de nos orthopédistes.

Dans la cinquième et dernière partie, les personnalités marquantes et en particulier les présidents qui se sont succédé sont énumérés avec une brève évocation de leur carrière et de leur personnalité. Tout au long de l'ouvrage, la contribution des nombreux acteurs est évoquée. Elle peut aisément être retrouvée à l'aide du très riche index des noms qui termine le livre. L'abondante bibliographie indiquée au bas des pages peut largement compléter la démarche du lecteur curieux qui souhaiterait approfondir davantage l'un ou l'autre des aspects évoqués au fil du texte.

Tout cela est le fruit de la collaboration entre un médecin historien et un acteur historique, ancien secrétaire général et ancien président de la Société. Ils ont travaillé sur les archives de la Société, sur la collection quasi complète des *Acta* et sur un véritable trésor d'images colligées depuis près de cinquante ans.

Nicole Schepens-Boisacq
Université catholique de Louvain

Bert (Jean-François) - Lamy (Jérôme), *Voir les savoirs : lieux, objets et gestes de la science*. – Paris : Éditions Anamosa, 2021. – 432 p. – 1 vol. broché de 17 × 22 cm. – 25,00 €. – isbn 978-2-38191-030-7.

Il est des ouvrages qui touchent, en particulier, le lecteur : ceux qui « lui donnent envie de travailler ». Ce livre appartient, de plein droit, à cette famille[1]. Vers quel horizon s'achemine sa recherche ? En une phrase : « aller aussi loin que possible dans le renouvellement du regard qu'il faut désormais poser sur les savoirs » (p. 353). L'entreprise est d'envergure. Pour y pourvoir,

1. Les auteurs sont fort lucides à ce propos car, disent-ils, « les commentaires les plus intéressants » sont « ceux dans lesquels le lecteur ou la lectrice mobilise directement son expérience pour objecter, critiquer, faire des éloges ou encore essayer d'engager un dialogue avec les propos du livre » (pp. 370-371).

> « L'idée est de s'intéresser aux différents liens qui organisent la relation entre les savants et les choses. Les choses qu'ils manipulent, qu'ils classent, qu'ils catégorisent, dont ils se souviennent et, qu'ils finissent par oublier. Des choses à partir desquelles ils pensent, élaborent et défendent des hypothèses.
>
> Des procédures de tri des informations aux lieux de la recherche, de l'engagement des corps dans les opérations de connaissance à la création d'instruments adaptés, c'est ce rapport à la matière que nous voulons envisager, car c'est lui qui ouvre la voie à l'étude des hétérogénéités des procédures savantes » (p. 8)[1].

Le passage de « la chose » à « l'objet » est, ce me semble, le cœur du livre. À vrai dire, il s'agit d'un nœud conceptuel dont les contours sont nets. Sans pour autant que l'on puisse ni le défaire ni le trancher à l'instar du nœud gordien. À partir de la Renaissance fleurit, pour ainsi dire, « le cabinet de curiosités, réservé à l'entreposage des spécimens, divisés en *artificialia* — faits de main humaine — et *naturalia* — recueillis en mer, sur la terre et dans le ciel et en *objets hybrides* combinant le travail de l'artisan et les œuvres divines de la nature » (p. 202).

Notons que le travail artisanal correspond à une véritable métamorphose. La chose peut devenir « objet savant ».

Le dilettante se promène, ainsi, parmi ses « curiosités » au seuil de l'*Ars Inveniendi*[2]. Or l'invention de l'instrument est, à son tour, point de départ et de référence. Dans le cadre de l'astronomie, « la façon dont Galilée rapporte ses observations constitue un modèle discursif qui vise à restituer l'effort de l'œil [...]. Il déploie, en quelque sorte, une rhétorique fort habile pour essayer de construire, avec le télescope, un "regard emprunté". Ainsi il cherche à faire disparaître l'instrument lui-même pour établir une relation directe entre le regard et le monde [...] » (p. 227). Par contre, pour Kepler, « c'est l'impersonna-

1. Voici, écourtée au possible la table des matières : Livre I : « La topographie des savoirs » ; Livre II : « Objets savants : les médiations matérielles » ; Livre III : « Savoir manipuler : les gestes de la science ». Ces trois livres sont précédés et suivis par deux sections intitulées, respectivement, « L'épaisseur matérielle des savoirs » et « Des "styles" savants et des manières de faire science ». Les illustrations — au nombre de soixante-quatre — sont remarquables. Et, en fait, indispensables pour jauger la portée de l'opus. D'autre part, la bibliographie permet « d'orienter des recherches en cours ou à venir » (p. 399). Par ailleurs, tout au long du texte, règne la notation basée sur les « points milieu » pour marquer le genre : p. 11 « d'un.e », ligne 13 ; « physicien.ne », ligne 14 ; « historien.ne.s » p. 270, ligne 22 ; p. 374 « auteurs.trices », ligne 12 ; « évaluateurs.trices », ligne 22. En ce domaine, certes, l'usage s'impose sans conteste. Pourtant, si l'on se hasarde à lire à haute voix, cela ne coule pas de source.
2. Cette expression que Leibniz étendit et enrichit n'apparaît nulle part dans ce livre. À la dernière page on trouve une note concernant la créativité : « cette fonction est depuis peu au cœur de réflexions neuroscientifiques qui visent à saisir l'innovation scientifique comme relevant d'un processus mental et cognitif complexe. La créativité articule différents domaines de la cognition comme la curiosité, la mémoire, la confiance en soi, ou encore la coopération » (p. 397, note 16). Les auteurs en restent là.

lité de l'observation qui semble faire sens : son instrument d'observation est le lieu de la connaissance astronomique [...]. L'observation, souligne Kepler, n'est pas la sienne. Elle n'est celle de personne » (p. 229). Descartes accorde « un rôle central au corps du savant et à sa manière de percevoir les choses [...]. Le corps devient le lieu où sont filtrés les informations venant de l'extérieur : posture de la tête, choix d'un angle de vue particulier [...]. Le sujet produit du sens avec son cogito » (p. 230). Au bout du compte, je pense, tout est dans le récit, dans le discours. Seuls les mots partagent et définissent les attitudes de Galilée, Kepler et Descartes. En « oubliant » le télescope, Galilée « joue » à voir avec ses propres yeux ; en « oubliant » l'œil, Kepler « joue » à l'objectivité absolue ; en « oubliant » les sensations, Descartes « joue » au cogito qui façonne les objets. Le récit établit une sorte de topologie de l'apparence. Dans cet état des lieux l'artisan occupe une place entre l'artiste et le savant. Mais, je crois, Galilée, Kepler et Descartes sont des savants, des artistes et des artisans. Leur envergure est à ce prix. L'avènement de la science moderne distingue « art et science, choses et objets » (p. 201). Est-ce aussi simple ?

J.-F. Bert et J. Lamy écrivent :

> « La pratique chirurgicale [...] permet de saisir la question du toucher [...], de ce qui relève du travail de la main. Fouiller les chairs, dépecer les cadavres, palper les corps, inspecter les organes sont des opérations cliniques qui supposent un geste sûr, répété, précis » (pp. 286-287).

Je me permets de prolonger l'écho de ces phrases. Voici comment :

> « En 1918 [...] l'œuvre de Marcel Proust était encore inconnue [...]. Nul, en voyant alors le Dr Robert Proust, chirurgien célèbre, ne songeait : "Voici le frère du fameux Marcel" [...]. Robert Proust était un chirurgien instruit et inventif [...]. La réflexion, chez lui, allait à la lenteur [...], il était impossible de prévoir ses décisions qui ressemblaient parfois à des caprices. Il aimait les reprises et les changements d'itinéraire. En bref sa "phrase" chirurgicale était longue, compliquée, entortillée, chargée de corrections et de repentirs, ce qui ne l'empêchait pas d'obtenir d'excellents résultats [...]. Or, quand il m'arrive de songer aux deux frères, je comprends, après coup, qu'entre la phrase chirurgicale de l'un et la phrase littéraire de l'autre la ressemblance était grande [...]. Même cheminement subtil de la pensée dans ses labyrinthes familiers [...]. Même sécurité secrète dans l'apparente complication »[1].

L'art du toucher et l'art de la retouche jouent la même pièce avec des instruments différents. La chirurgie et l'art d'écrire se prêtent main forte. Ce lien à peine perceptible représente, à mon avis, le noyau autour duquel tourne l'esprit des auteurs : établir la familiarité foncière qui pointe sous le couvert de la différence des savoirs. À la fin de l'ouvrage, avec élégance et à propos, un personnage inattendu prend le devant de la scène : Jules Maciet, « collectionneur, amateur d'art parisien [...], virtuose de l'art de la découpe d'un livre ou

1. Duhamel, G. (1944). *Chroniques des saisons amères 1940-1943*. Paris : Paul Hartmann éditeur. Ici, pp. 57-59.

d'un article. Il développa ce savoir-faire particulier au début des années 1880 [...]. Ainsi taillant en pièces des magazines, des photographies, des catalogues, il découpa et collecta près d'un million d'images qu'il classa dans plus de 5000 albums de grande taille » (p. 380). Avec acuité, Bert et Lamy formulent un lemme, si l'on peut dire : « Classer n'est pas penser, c'est en fait bien plus. C'est une manière d'être au monde » (p. 384). La netteté du propos cache, me semble-t-il, une ambigüité. Leur commentaire sur ce « maître de la découpe » éclaire ma réticence : « En collant ses images, Maciet cherche à créer de nouveaux assemblages [...]. Seul compte la mise en réseau, l'analogie, le choc de la rencontre avec deux ou plusieurs images que tout sépare » (p. 383). Bref, il invente. Et n'est-ce pas l'inventeur qui découpe ? Inventer est « une manière d'être au monde ». Et ce, en premier lieu. Maciet, au moment de sa mort, « chercha à couper, utilisant une dernière fois ses ciseaux en mimant le geste avec ses doigts » (p. 381).

« Prends garde à la douceur des choses » disait Jean-Paul Toulet[1]. Et soudain, ce vers revêt un aspect inquiétant. Est-ce l'image, au-delà de tout parchemin, d'un coup de ciseaux dans le vide ?

Godofredo Iommi Amunátegui
Pontificia universidad católica de Valparaiso

Philosophie des sciences

Interpreting Mach : Critical Essays / edited by John Preston. – Cambridge : Cambridge University Press, 2021. – xii + 287 p. – 1 vol. relié de 15 × 23 cm. – 75,00 £. – isbn 978-1-108-47401-6.

Ernst Mach a toujours suscité l'intérêt des scientifiques, des historiens des sciences et des philosophes des sciences. Il était lui-même un scientifique, plus précisément un physicien, qui a publié des réflexions métathéoriques sur la science, aujourd'hui considérées comme classiques. Dans la première moitié du XXe siècle, il a exercé une remarquable influence sur le néo-positivisme ou positivisme logique. Au cours des dernières décennies, de nombreux ouvrages collectifs lui ont été consacrés : ce livre récent, édité par John Preston, appartient donc à une longue tradition d'études.

Nous trouvons ici un intérêt plus marqué pour le livret que Mach publia en 1872, *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit* (*Histoire et racines du principe de conservation du travail*) et pour son pragmatisme.

L'introduction de Preston met en lumière les étapes essentielles de la carrière de Mach : en 1864, à l'Université de Graz, il entreprit des recherches sur la psychophysique dans le sillage de Gustav Theodor Fechner. En 1867, il alla à Prague en tant que professeur de physique expérimentale. Ici, en 1872, il publia sa recherche sur la conservation de l'énergie, en soulignant « la contingence historique » des réalisations scientifiques.

1. Toulet, J.-P. (2000). *Anthologie de la poésie française : XVIIIe siècle, XIXe siècle, XXe siècle*. (Bibliothèque de la Pléiade). Paris : Gallimard. Ici, p. 912.

En 1883, il publia son livre le plus connu, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt* (*La mécanique dans son développement historique et critique*) et, en 1886, *Beiträge zur Analyse der Empfindungen* (*Contributions à l'Analyse des sensations*).

En 1895, il retourna à Vienne sur une chaire récemment créée : professeur d'histoire et de philosophie des sciences inductives. En 1896, il publia une autre enquête métathéorique, à la fois scientifique, historique et philosophique : *Die Prinzipien der Wärmelehre, historisch-kritisch entwickelt* (*Les principes de la chaleur dans leur développement historico-critique*).

En 1905, il écrivit son texte le plus épistémologique (au sens contemporain) : *Erkenntnis und Irrtum : Skizzen zur Psychologie der Forschung* (*Connaissance et erreur : esquisses sur la psychologie de la recherche*).

Au cours du XXe siècle, de nombreuses étiquettes philosophiques ont été avancées pour qualifier l'entreprise intellectuelle de Mach : phénoméniste, empiriste, instrumentaliste, pragmatique... En raison de « la tendance croissante à penser la science en termes formels », Mach est parfois regardé comme une sorte de « positiviste prélogique ». Preston pense que l'étiquette de « naturalisme historiciste » est probablement la plus appropriée : les scientifiques et la pratique scientifique appartiennent à l'histoire et à la nature (pp. 1-4 et 7). Précisément, Thomas Uebel déclare que « le naturalisme historiciste de Mach peut être considéré comme une forme originale de pragmatisme » (pp. 84, 92 et 99).

Richard Staley remarque à juste titre que « le portrait de la science par Mach est axé sur les processus plutôt que sur les résultats » (pp. 32, 38 et 42). Des évaluations similaires sont avancées par Daan Wegener : il déclare que, selon Mach, le sens scientifique « n'existait pas dans les esprits désincarnés, et ne pouvait pas non plus être capturé par des définitions intemporelles et formelles ». Le sens dépendait de « la communication, de la pratique et de l'histoire ». Mach soulignait que la science est toujours une entreprise collective ; c'est un ensemble de pratiques autant qu'un ensemble de connaissances (pp. 49, 52, 59-61 et 62-63).

Alexander Klein insiste également sur le pragmatisme de Mach et l'accord substantiel entre Mach et James (pp. 103 et 109-10). Dans une perspective philosophique différente, Pietro Gori retrouve des analogies structurelles entre Mach et Nietzsche. Ils avaient en commun la méfiance à l'égard des « faits éternels » et des « vérités absolues ». Ils ont rejeté l'opposition entre le sujet et l'objet de la connaissance, et l'opposition entre la « chose en soi » et l'apparence. En bref, Gori remarque que « Nietzsche est autant antiréaliste et instrumentaliste que Mach » (pp. 126-27, 129 et 135).

Luca Guzzardi souligne que, selon Mach, le sujet de la connaissance ne peut être considéré comme une entité statique : il s'agit plutôt d'un réseau d'événements évoluant dans le temps. Même la conception statique des expériences scientifiques ne tient pas : la répétition exacte de faits ou d'expériences est une abstraction (pp. 171 et 180). Sur la même piste, John Preston remarque que Mach considérait « physique » et « psychique » comme différents aspects d'un même événement. « L'intérêt de Mach était dans les fonctions et les connexions » plutôt que dans des faits et des choses isolés. Même si Mach a rejeté la

métaphysique, ses recherches métathéoriques ont fait de lui « un métaphysicien, un métaphysicien de ce nouveau genre naturaliste » (pp. 239, 247 et 253).

L'article posthume d'Erik Banks montre qu'il n'y a pas de système philosophique de Mach, à moins que nous n'entendions la philosophie comme une praxis de recherche. Cette praxis pourrait être qualifiée comme « monisme neutre » parce que la séparation entre les processus mentaux et les événements physiques « n'est que provisoire » et incomplète. La référence continue de Mach à l'explication scientifique comme une « économie de la pensée » a été lue comme du scepticisme à l'égard des lois scientifiques ou des principes abstraits. En réalité, Mach ne se méfie pas de la théorie et de l'abstraction, même si « il n'y a pas de méthodes scientifiques codifiées garantissant de conduire à la vérité » (pp. 259, 267, 271 et 273).

Friedrich Stadler et Michael Stölzner traitent de la réception de Mach en Autriche et en Allemagne. Stadler souligne à juste titre que « le naturalisme et l'historicisme sont devenus un terrain d'entente pour le premier *Cercle de Vienne* ». Puis le *Cercle* a continué à « trop insister sur la formalisation ». Bien que Mach n'ait pas accepté d'être considéré comme un philosophe, mais comme un chercheur naturel (*Naturforscher*), Stadler estime que « Mach peut être considéré comme un prédécesseur d'une histoire et d'une philosophie des sciences intégrées ». Stölzner souligne que Mach avait une image de la science comme une tâche incomplète, un ensemble de connaissances et de pratiques à améliorer en permanence. Il constate également l'accord profond avec Pierre Duhem (pp. 191-93, 197-200, 213 et 221-222).

Ce livre est certainement un bon outil de recherche pour les historiens et les philosophes des sciences déjà au courant des études précédentes sur le scientifique-historien-philosophe autrichien.

Stefano Bordoni
Université de Bologne

Sciences et religions

Reisse (Jacques), *Averroès, Copernic, Bruno et Galilée : raison, croyances et pouvoirs religieux* / postface de Dominique Lambert. – Bruxelles : Académie royale de Belgique, 2021. – 242 p. – (Regards ; 4). – 1 vol. collé de 14 × 20,50 cm. – 18 €. – isbn 978-2-8031-0809-1.

Inquiet (comme nous) par le retour du fondamentalisme religieux, l'auteur cherche, avec raison, « à mieux comprendre le présent à la lumière d'un passé qui mérite d'être rappelé » (p. 14). Mais pour que cette compréhension soit effectivement au rendez-vous, il faut que ce passé soit rappelé le plus précisément possible. Examiner, à partir de quelques exemples, si tel est bien le cas sera l'objectif, assurément limité, de ce compte rendu, étant donné que Dominique Lambert s'est déjà attaché, dans la postface de l'ouvrage, à commenter certaines des convictions de l'auteur, telles que le caractère inéluctable des conflits entre discours scientifiques et discours religieux.

Concernant la toute première question posée, à savoir « La Terre est-elle plate ou ronde ? » (p. 11) — question qu'il conviendrait de distinguer soigneusement de celle de l'existence d'antipodes ! —, nous sommes prêts, par principe, à accepter que « durant le Moyen Âge, ceux des croyants qui défendent toujours l'idée d'une Terre plate font référence à Lactance » (p. 46) pourvu que cette double affirmation soit prouvée ou du moins référencée. En revanche, il nous paraît impossible de recevoir l'allusion copernicienne au « Cicéron chrétien » présente dans la *Praefatio authoris* du *De revolutionibus*[1] comme une démonstration « que même au XVIe siècle, la croyance en une Terre plate n'avait pas totalement disparu » (p. 46). En effet, par ce « rappel de la bévue de Lactance » (Copernic, 2015, vol. 1, p. 467), l'astronome polonais cherche « seulement » à anticiper et à contrecarrer la réaction qui pourrait être celle de certains « vains discoureurs » : dès lors qu'un ouvrage mathématique comme le sien ne peut être évalué que sur base d'arguments qui le sont aussi (c'est le fameux « *mathemata mathematicis scribuntur* » qui suit immédiatement le passage visé), Copernic annonce qu'il ne tiendra pas compte du jugement de ceux qui seraient tentés de condamner son travail « en raison de tel ou tel passage de l'Écriture *malignement détourné* » (Copernic, 2015, vol. 2, p. 9. Nous soulignons). Il s'agit donc là d'une revendication relative au type d'arguments recevables prenant pour exemple ce qui allait devenir un *locus classicus* parmi les Coperniciens et nullement du souci de combattre une croyance, en l'occurrence celle de la Terre plate, qui n'aurait pas encore complètement disparu. « Détail », diront certains ! Sauf qu'il reste encore et toujours à combattre le mythe, savamment construit[2], selon lequel, pour le dire rapidement, le moyen âge chrétien a évidemment ignoré la sphéricité terrestre !

Si l'on peut assurément prendre pour hypothèse de travail que Copernic et Darwin ont partagé la conviction selon laquelle « les conclusions auxquelles ils étaient arrivés étaient en contradiction si profonde avec ce que disait la Bible qu'elles seraient nécessairement critiquées voire rejetées et que donc, par prudence, mieux valait en postposer la publication », cette explication, par un phénomène d'autocensure, de leur commune « longue hésitation » à rendre publics leurs travaux ne nous semble nullement « s'imposer » (pp. 84-86). Pour nous en tenir à l'astronome polonais et comme nous l'avons vu, ce que celui-ci anticipait, tout en annonçant ne pas s'en soucier, ce n'était nullement une contradiction *réelle* avec la Bible, mais bien — et la différence est de taille ! — l'usage que de « vains discoureurs » pourraient faire de passages de l'Écriture « *malignement détournés* ». Comme l'auteur le sait parfaitement (p. 93), c'est Osiander, et non Copernic, qui, par sa préface anonyme et non autorisée, s'est montré particulièrement « prudent voire timoré » (p. 85). Comme l'auteur semble cette fois l'ignorer, ce n'est personne d'autre que le seul et unique élève direct de Copernic, à savoir Rheticus, qui s'est attaché à rédiger un traité[3] montrant « très clairement [...] que le mouvement de la Terre ne contredit pas

1. Copernic, N. (2015). *De revolutionibus orbium cœlestium. Des révolutions des orbes célestes* (édition critique, traduction et notes par M.-P. Lerner, A.-Ph. Segonds et J.-P. Verdet). (Science et humanisme ; 11). Paris : Société d'édition « Les Belles Lettres ». Ici, vol. 2, p. 9.
2. Cf. Giacomotto-Charra, V., & Nony, S. (2021). *La Terre plate : généalogie d'une idée fausse*. Paris : Les Belles Lettres.
3. Cf. Rheticus, G. J. (1984). *G. J. Rheticus' Treatise on holy scripture and the motion of the earth* (with translation, annotations, commentary and additional chapters on Ramus-Rheticus and

les saintes Écritures », raison pour laquelle Tiedemann Giese, le meilleur ami de notre astronome, souhaitait sa publication (Copernic, vol. 1, pp. 210-211). S'il y avait donc, dans l'entourage immédiat de Copernic, la conscience d'un conflit potentiel avec une certaine interprétation de la Bible — alors majoritaire, reconnaissons-le ! —, il n'y avait nullement la conviction d'une opposition inévitable, car intrinsèque.

Galilée enfin ! L'auteur a le mérite de le reconnaitre sans détour : à l'époque du savant florentin, « il n'existe aucune preuve directe », « définitive » et « indiscutable des mouvements de la Terre » (p. 174, p. 197 et p. 214). Dans de telles circonstances, la réaction de Bellarmin, exprimée dans le seul passage de sa célèbre lettre à Foscarini que l'auteur oublie de citer, nous semble adéquate : si une véritable démonstration de l'héliocentrisme venait à être produite, bien que je doute personnellement que cela soit possible, il faudra plutôt reconnaître que nous ne comprenons pas les passages des Écritures qui lui semblent contraires plutôt que de tenir pour faux ce qui serait dorénavant démontré ; mais tant qu'une telle démonstration ne sera pas fournie et compte tenu du fait que démontrer la possibilité de l'héliocentrisme n'est pas encore démontrer sa réalité, il ne convient pas d'abandonner l'interprétation traditionnelle des saintes Écritures (nous paraphrasons).

Comme on l'aura compris, la valeur de cet ouvrage, qui relève davantage d'un essai que d'un véritable travail académique, réside surtout dans le précieux témoignage qu'il nous livre : celui d'un homme qui, avec beaucoup d'honnêteté, aborde la question des « relations entre praticiens des sciences de la nature et pouvoirs religieux » (p. 17) et dont les difficultés ressenties permettent de prendre conscience de ce qui doit, encore et toujours, être mieux travaillé et davantage expliqué.

Jean-François Stoffel
Haute école Louvain-en-Hainaut

Mathématiques

Manin (Yuri), *Les mathématiques comme métaphore : essais choisis* / traduit par Claire Vajou ; préface de Freeman J. Dyson ; postface de Pierre Lochak. – Paris : Les Belles Lettres, 2021. – 598 p. – (L'âne d'or). – 1 vol. broché de 15 × 21,50 cm. – 27,50 €. – isbn 978-2-251-45172-5.

Je suis mal à l'aise pour réaliser la recension de cet ouvrage de presque 600 pages paru aux Belles Lettres dans la collection « L'âne d'or », non parce que je pourrais avoir une quelconque réserve, bien au contraire, mais parce que je crains de ne pas suffisamment savoir en dire l'intérêt pour un très vaste lectorat. En tout cas allant bien au-delà de ceux qui sont sensibles naturellement à la « beauté mathématique ». Avec ce « témoignage accessible et rigoureux », comme à juste titre le décrit la quatrième de couverture, je sais aussi que la réunion de ces trois mots — témoignage, rigueur et accessibilité —, peut faire peur

the development of the problem before 1650 by R. Hooykaas). (Verhandelingen der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Afd. Letterkunde, Nieuwe reeks ; Deel 124). Amsterdam ; Oxford ; New York : North-Holland Publishing Company.

à notre temps assoiffé d'efficacité, débordé de récits, et ne se laissant plus attirer par des promesses analogues à celle de Nicolas Bourbaki, prétendant que la lecture de ses *Éléments de mathématiques* ne requérait que de savoir lire, écrire et compter. La comparaison qui est aussi justement faite dans cette quatrième de couverture avec le célèbre livre de Henri Poincaré, *La science et l'hypothèse*, pourrait faciliter la tâche de propagande pour l'ouvrage. Mais si cette quatrième de couverture assure que la « leçon de philosophie mathématique » est « magistrale », elle en limite l'intérêt aux « non-mathématiciens » ! Or il faut dire nettement que les mathématiciens, les informaticiens, mais également les physiciens théoriciens entre autres, trouveront aussi beaucoup de choses passionnantes dans ce livre de Yuri Manin. Certes notre temps est habitué à la forte séparation des disciplines, dont celle entre mathématiques et informatique n'est pas la moindre, celle aussi qui refuse que les sciences sociales et humaines se vivifient des sciences dites dures ou tout aussi bien les vivifient. Justement, l'ouvrage de Poincaré, publié en 1902, se voulait destiné au plus large public possible en ce début du XXe siècle qui connaissait de profonds changements épistémologiques que les mots de « géométrie non euclidienne », de « topologie du continu », ou de « théorie des quantas » peuvent désigner et qui en quelque sorte obligeaient à ne pas en rester au positivisme. Et si le livre de Poincaré a non seulement eu des lecteurs nombreux, mais en plus a pu inspirer quelqu'un comme Einstein pour la mesure du temps, c'est qu'il comporte aussi bien des déclarations fortes et compréhensibles par tout un chacun. Comme la sentence suivante :

> « Les mathématiciens n'étudient pas des objets, mais des relations entre les objets ; il leur est donc indifférent de remplacer ces objets par d'autres, pourvu que les relations ne changent pas. La matière ne leur importe pas, la forme seule les intéresse »[1].

Ou cette autre :

> « Ces deux propositions, "la Terre tourne" et "il est plus commode de supposer que la Terre tourne", ont un seul et même sens ; et il n'y a rien de plus dans l'une que dans l'autre » (Poincaré, 1902, p. 141).

L'ouvrage de Manin fait de même. Et je cite deux phrases pour appâter un lecteur. La première a cette jolie touche moqueuse pour dire une expérience contemporaine :

> « L'informatique théorique a apporté une touche pratique très bienvenue aux prescriptions jusque-là essentiellement hygiéniques de la logique formelle » (p. 129).

Et une autre n'hésite pas à l'emploi du mot « abîme » :

> « Le domaine émergent de la programmation théorique est voué à travailler au bord de l'abîme de l'incalculabilité, mais son souci principal demeure néanmoins celui de savoir comment faire bien ce qui est en principe faisable » (p. 166).

1. Poincaré, H. (1902). *La science et l'hypothèse*. (Bibliothèque de philosophie scientifique). Paris : Ernest Flammarion éditeur. Ici, p. 32.

Je ne résiste pas à en donner une troisième, dont j'omets volontairement la figure hexagonale qui l'accompagne, car elle est expliquée dans le livre et le lecteur n'est donc pas laissé à lui-même :

> « C'est seulement au XIXe siècle qu'il est apparu clairement que le théorème de Pappus était un résultat capital de la géométrie projective du plan. On l'avait d'abord pris pour un énoncé relevant de la géométrie projective du plan sur les nombres réels, complétée par une ligne s'étendant à l'infini, où les parallèles se rencontrent. Mais ensuite, on a découvert qu'il était aussi valable sur un plan projectif sur n'importe quel corps abstrait. De plus, le corps, avec ses lois de composition et ses axiomes, peut être reconstitué à partir de la construction de Pappus » (p. 398).

Les trois extraits sont pris dans des articles différents de ce livre qui est divisé en trois parties, l'une s'intitule comme le livre lui-même, la deuxième de longueur grosso modo moitié est décrite par son titre comme « Mathématiques et physique » et la troisième partie, aussi longue que la première, comporte des « Essais variés », précisés comme relevant de « la culture et du langage ». De fait une version anglaise était parue en 2007 de ces articles en russe qualifiés de « non techniques » par Manin lui-même, ici traduits en français. Cette qualification veut signifier que les articles ne sont pas ceux parus dans des revues spécialisées de mathématiques, d'ailleurs à la manière des chapitres du livre cité de Poincaré. Et ce « non technique » ne signifie pas qu'il y ait un manque d'information, ou la stylisation d'une pensée molle et vague, ou encore que l'auteur ait juste réussi le noble art de la vulgarisation. J'entends faire saisir que les divers spécialistes trouveront autant, dans ce recueil, que le lecteur non spécialisé, parce que des niveaux de lecture différents sont possibles.

Le « témoignage » d'un des très grands esprits contemporains n'est donc pas un bel exercice de vieillesse ; il se nourrit de plusieurs époques et n'est pas mono-disciplinaire sur la géométrie algébrique qui est la première spécialité ; il présente des opinions tranchées, quoique souvent présentées avec une belle et douce ironie ; il décrit avec affection des vies quelquefois compliquées de chercheur comme celle d'Alexander Grothendieck, ou les avancées multiples d'Andreï Kolmogorov ; le livre réfère toujours à tel article technique essentiel sans assommer son lecteur, mais guidant même le spécialiste ; il choisit ses citations quelquefois longues et ses anecdotes pour constituer des mini-récits ; il a l'art de faire sentir l'atmosphère des nombreux lieux de recherche qu'il a fréquentés.

À cette sélection ancienne, une sélection complémentaire des articles en russe est ici traduite par la même personne, Claire Pajou, dont on a pu lire le langage fluide, et qui réalise un beau travail très homogène qui, sans aucun doute, doit beaucoup à sa fidélité à Manin. Plusieurs autres textes traduits du russe sont encore ajoutés dans cette édition française, sélectionnés par Manin, dont des poèmes, un entretien avec Manin, ou encore et parmi d'autres un essai d'ethnologie critique sur Claude Lévi-Strauss de 1984. Les erreurs typographiques sont minimes, quelquefois une formule mal recopiée, ou un « entre » au lieu d'une intersection. Du beau travail !

Une préface alerte de Freeman J. Dyson, celle pour l'édition en anglais de 2007, ouvre le volume et explique le sens du mot « métaphore » employé pour les mathématiques, comme transport d'un monde à un autre, tel celui de l'algèbre à la géométrie opéré par Descartes. Une forte introduction est donnée par Manin lui-même, jouant encore du mot « métaphore », mais à propos de sa propre aventure de vie et de ses propres changements de sujets. Il y reprend à ce titre une affirmation du poète Stéphane Mallarmé selon laquelle la poésie est faite de mots plus que d'idées, pour la faire passer aux mathématiques, et sur le champ la contredire radicalement. Cette façon de faire donne le ton particulièrement vif et vivant de tout le livre, comme une sorte de dialogue où chacun, des plus érudits aux plus ordinaires, peut trouver matière à intérêt et à réflexion. Une liste de publications de Yuri Manin termine le livre, précédée par une longue et très riche postface de Pierre Lochak, qui a l'avantage, à elle seule, de pousser à relire certains des articles.

Si je ressens le fait de ne pas en avoir dit assez, c'est que je ne parviens pas à faire passer la liberté d'expression intellectuelle de cet ouvrage comme collection d'articles où pourtant parle, et avec quelle voix, un seul auteur. Qui est apte à en faire vivre ou revivre d'autres. Un dernier exemple est celui par lequel Manin, dans son essai intitulé « Les mathématiques comme profession et comme vocation », assure que les « mathématiques sont une grande source de métaphores » (p. 187). Mais il amende dans le même élan le risque de domination arbitraire : « L'acte d'interpréter une construction mathématique dans le champ de la physique théorique par exemple doit être distingué de la construction elle-même ». Ce qui ne l'empêche nullement, dans un article de 2014 brillamment intitulé « Motifs oubliés : les variétés de l'expérience scientifique » dans lequel il parle de sa rencontre avec Grothendieck, d'assurer, une référence bien technique à l'appui : « c'est l'intuition physique qui a aidé à découvrir des structures mathématiques inconnues jusque-là ».

Jean Dhombres
Centre national de la recherche scientifique &
École des hautes études en sciences sociales

Mee (Nicholas), *Celestial Tapestry : The Warp and Weft of Art and Mathematics*. – Oxford : Oxford University Press, 2020. – 325 p. – 1 vol. broché de 20 × 13 cm. – 16,99 £. – isbn 978-0-19-885195-0.

Si, de nos jours, une pratique scientifique « correcte » se définit en partie par la déconnection de ses méthodes à l'égard de domaines tels que la culture ou la spiritualité, il n'en demeure pas moins certain que les mondes de l'art, de la science et du mysticisme ont abondamment interagi au cours de l'histoire. Le simple exemple de la littérature de science-fiction montre combien les travaux des scientifiques ont pu inspirer les artistes au XXe siècle. Des situations inverses existent, mais sont certainement moins connues du grand public : le tableau d'un peintre peut-il inspirer un mathématicien ? Des motifs religieux peuvent-ils mener à une compréhension rigoureuse de l'univers ? Dans l'ouvrage *Celestial Tapestry*, une des ambitions du physicien et vulgarisateur Nicholas Mee est de montrer, au travers de nombreuses illustrations, que la réponse à ces deux questions est affirmative.

La thématique de ce livre est peu commune et son programme ambitieux, comme le révèle immédiatement la table des matières : on y parlera d'espace, de temps, de nœuds, de matière, de cosmogonie..., dans un langage non technique, voire poétique. L'introduction expose un constat qui sous-tend tout l'ouvrage : « L'idée d'une réalité cachée plus profonde a stimulé les artistes, les mathématiciens, les scientifiques et les mystiques à travers les âges. Chaque groupe utilise ses propres méthodes pour explorer le monde. Ce qu'ils ont en commun est la croyance en un ordre caché qu'ils doivent révéler au grand jour » (p. 10). Une fois cette ligne directrice exposée — révéler ce qui est commun à ces différents esprits créatifs —, débutent simultanément la première partie (« La fabrique de l'espace, du temps et de la matière ») et la perplexité du lecteur.

À l'intérieur de ses chapitres, l'ouvrage de Nicholas Mee semble être régi par la sérendipité plutôt que par une structure définie. Choisissons à titre d'exemple le chapitre 18 (« Dans la quatrième dimension »), consacré au passage d'une géométrie tri- à quadri-dimensionnelle. Y sont évoqués, en seulement cinq pages, les travaux de Charles Hinton (1853-1907) sur la géométrie à quatre dimensions, le roman *Flatland* d'Edwin Abbott (1838-1926), la construction mathématique d'un hypercube et sa projection dans le plan (fig 18.3), le tableau *Corpus hypercubus* peint en 1954 par Salvador Dalí (1904-1989) et un traité sur la géométrie et la perspective écrit en 1525 par Albrecht Dürer (1471-1528). Cet exemple est représentatif de l'entièreté de l'ouvrage, sorte de partie du *Jeu des Perles de Verre* cher à Hermann Hesse (1877-1962) qui peut dès lors procurer au lecteur deux émotions contradictoires : du plaisir intellectuel associé à la découverte d'artistes ou scientifiques parfois ignorés et des liens existant entre eux — on notera ainsi une belle discussion de la fabrication des première horloges mécaniques par Richard de Wallingford (1292-1336) et de la représentation de ses travaux dans des enluminures —, mais également de l'irritation devant cette succession rapide de concepts trop sommairement évoqués.

Malgré les réserves que l'on peut formuler à son encontre, *Celestial Tapestry* possède une vertu principale : pour l'esprit curieux, ce travail d'érudition constitue une porte d'entrée vers de nombreux personnages et concepts méconnus sélectionnés par Nicholas Mee ; il revient au lecteur de dépasser leur simple évocation et d'ensuite partir à la recherche d'autres ouvrages, plus détaillés et rigoureux, abordant les notions qui auront suscité son intérêt.

Fabien Buisseret
Haute école Louvain-en-Hainaut

Physique

Kotkin (Gleb L.) - Serbo (Valeryi G.), *Exploring Classical Mechanics : A Collection of 350+ Solved Problems for Students, Lecturers, and Researchers*. – Second revised and enlarged English edition. – New York : Oxford University Press, 2020. – ix, 380 p. – 1 vol. broché de 17 x 24,5 cm. – isbn 978-0-19-885379-4.

La mécanique analytique — par quoi l'on entend les approches lagrangienne et hamiltonienne de la mécanique classique qui ont simplifié et en même temps généralisé l'ap-

proche newtonienne — est la base de toutes les branches de la physique théorique, que ce soit la mécanique quantique, la mécanique statistique ou les théories classique et quantique des champs. La mécanique analytique est enseignée dans le premier volume des cours de physique théorique de L. Landau et I. Lifshitz. Ce recueil d'exercices présentés et résolus par G. L. Kotkin et V. G. Serbo constitue le compagnon idéal du premier volume des cours de Landau et Lifshitz.

L'ouvrage compile, dans sa première partie, les énoncés des problèmes. La deuxième et plus volumineuse partie du livre fournit ensuite la résolution des problèmes. Les auteurs exposent et exploitent les méthodes mathématiques de la mécanique analytique dans le même ordre que celui du cours de Landau et Lifshitz.

La section 1 traite de problèmes à une dimension, étant entendu que beaucoup de problèmes dans l'espace euclidien à trois dimensions peuvent se réduire à des problèmes d'une particule se mouvant dans un espace à une dimension grâce à la symétrie sous rotations du système dynamique étudié. Ici, un traitement original des perturbations est exposé et utilisé pour la résolution de plusieurs problèmes classiques.

La section 2 énonce quarante-cinq problèmes de grand intérêt physique. On a apprécié, dans la résolution du problème 2.18, l'utilisation du vecteur conservé de Laplace-Runge-Lenz qui permet d'intégrer très élégamment les équations du mouvement d'une particule dans un potentiel en 1/r, où r est la variable radiale. C'est le cas des problèmes de Kepler et de Coulomb. La résolution complète de ces problèmes est donnée, ainsi qu'une multitude de variations sur ce même thème. À travers chacune des sections de ce recueil d'exercices, un problème important de la physique (par ex., le problème de Kepler) est traité en détail ; viennent ensuite plusieurs problèmes annexes qui sont brièvement résolus en se basant sur des équations obtenues précédemment dans le cadre général. Ce système d'exposition permet la découverte d'une multitude d'aspects physiques du problème général de départ et, par-là, donne une maîtrise complète de la physique du problème.

Dans la section 3, les auteurs effectuent des calculs de section efficace de diffusion de particules dans différents potentiels ou bien via la collision élastique de ces particules contre plusieurs surfaces de révolution. Comme cas particulier, les auteurs montrent que la formule de Rutherford est reproduite par la section efficace de diffusion de particules qui rebondissent élastiquement sur un paraboloïde de révolution, pour des vitesses initiales parallèles à l'axe de symétrie du paraboloïde de révolution et pour les grandes valeurs du paramètre d'impact.

Dans la section 4, le lecteur est invité à mettre en pratique, dans un grand nombre de situations d'intérêt physique, le formalisme lagrangien de la mécanique, avec en particulier des exercices sur le très fondamental théorème de Noether qui relie les quantités conservées aux symétries continues de la fonction de Lagrange correspondante.

Dans les sections 5 et 6, les auteurs résolvent un grand nombre de problèmes qui concernent les systèmes dynamiques à un et plusieurs degrés de liberté en vibration infinitésimale autour d'un point d'équilibre stable. Dans le cas des petits mouvements, ces systèmes dynamiques se comportent formellement comme une superposition d'oscillateurs harmoniques découplés qui oscillent dans les différentes directions propres admises par le

système. C'est dans la section 5 que l'on trouve le traitement d'un oscillateur harmonique freiné et forcé. Dans la section 6, les auteurs résolvent la dynamique des nombreux systèmes constitués de plusieurs masses reliées entre elles par des ressorts. La section 7 traite des modes propres de vibrations infinitésimales de systèmes linéaires à plusieurs masses, qu'on peut voir comme des discrétisations de cordes vibrantes avec différentes conditions aux deux bords. Les oscillations non linéaires et la résonance paramétrique sont traitées en section 8.

La section 9 concerne le sujet particulièrement ardu de la dynamique des corps solides. Par exemple, le problème 9.21 décrit la dynamique parfois surprenante d'un disque pesant qui roule sans glisser sur un plan horizontal ou incliné. Cette section considère aussi la dynamique des systèmes décrits depuis des référentiels non inertiels. La section 10 présente[1] des problèmes physiques résolus dans l'espace des phases par les méthodes hamiltoniennes, comme le problème classique d'une particule chargée dans divers champs électromagnétiques, ou la résonance magnétique. La section 11 montre l'importance de la méthode hamiltonienne par la théorie des transformations canoniques. Viennent ensuite, en section 12, des problèmes résolus par la méthode de Hamilton-Jacobi. La dernière section ferme la boucle initiée dans la section 1 avec le traitement de petites perturbations, cette fois à travers les invariants adiabatiques.

Cet impressionnant recueil d'exercices résolus de mécanique analytique est aussi sobre en détails de calculs que le premier volume des cours de Landau et Lifshitz est économe en explications. Bien qu'élémentaires, ces étapes de calculs doivent être faites par tout étudiant qui désirerait assimiler le formalisme mathématique de la mécanique analytique. On peut remarquer quelques coquilles dans le texte — le contexte permet toujours de les corriger — et regretter l'absence de schémas dans la description souvent laconique de la géométrie d'un système physique. Toutefois, dans l'ensemble, les quinze ans d'expérience d'enseignement de la mécanique analytique de l'auteur de ce compte rendu ont montré la supériorité de ce recueil d'exercices sur tous les autres qu'il a pu parcourir. Si les résolutions peuvent paraître avares en détails de calcul, c'est largement compensé par la générosité dans le nombre et la diversité des problèmes présentés et résolus dans seulement 374 pages.

Nicolas Boulanger
Université de Mons

Sciences de l'ingénieur

Askeland (Donald R.) - Wright (Wendelin J.), *Science et génie des matériaux* / traduit et adapté par Nicole R. Demarquette et Ricardo J. Zednik. – Cachan : Lavoisier, 2020. – xiv + 493 p. – 1 vol. broché de 21,5 × 27,5 cm. – isbn 978-2-7430-2556-4.

1. On remarque en passant que le problème 10.25 n'est pas résolu (il est heureusement élémentaire) et qu'un décalage apparaît ensuite dans les numéros des deux derniers problèmes résolus de cette section. Dans la section 2, c'est le problème 2.33 qui n'est pas résolu.

L'ouvrage *Science et génie des matériaux* de Askeland et Wright constitue un cours d'introduction générale à la science des matériaux. Structuré en 15 chapitres, il commence par une présentation générale de la discipline. Le chapitre 2 présente la structure électronique des atomes et les types de liaison ; le chapitre 3 aborde les questions d'ordre et de cristallographie ainsi que des notions élémentaires de diffraction. Dans le chapitre 4 sont introduits les défauts (ponctuels, linéaires et à deux dimensions) et leur importance est brièvement abordée. Les phénomènes de diffusion sont ensuite introduits. Leur origine microscopique est illustrée avant de présenter les lois de Fick et de discuter les facteurs influençant la diffusion. La question de la perméabilité des polymères est rapidement évoquée. Les deux chapitres suivants traitent des propriétés mécaniques. Tout d'abord sont couverts les essais de traction et la définition des grandeurs mécaniques d'intérêt (ainsi, rapidement, que la flexion), puis les essais de dureté, de nanoindentation et les essais d'impact. Une section traite des verres métalliques massifs. Les effets de taille et une brève discussion de rhéologie closent le chapitre. Le suivant s'intéresse aux propriétés de rupture en introduisant le facteur d'intensité des contraintes et la ténacité, puis en discutant les types de rupture dans les matériaux métalliques et non métalliques, abordant alors la statistique de Weibull. La question de la fatigue est ensuite traitée avant que le chapitre ne se ferme sur les questions de fluage. Le chapitre 8 introduit les questions d'écrouissage et de recuit. Les coefficients d'écrouissage et de sensibilité à la vitesse de déformation sont tout d'abord définis avant d'aborder les aspects microstructuraux et le travail à froid. La question du recuit est ensuite abordée et finalement le travail à chaud. Le chapitre 9 aborde les questions de solution solide et de diagrammes de phases dans le cas des binaires totalement solubles. La solidification et les relations propriétés/diagrammes de phases sont abordées, ainsi que les phénomènes de ségrégation. Les chapitres 10 et 11 traitent des questions de durcissement. Pour le premier, dans le cas des matériaux possédant un domaine eutectique, ce qui permet de présenter les microstructures de solidification de ce type d'alliages. Le second aborde le phénomène de précipitation, de mise en solution et vieillissement et enfin des transformations eutectoïdes et martensitiques. Le chapitre 12 aborde les matériaux céramiques. Les liaisons et la structure sont tout d'abord traitées avant d'évoquer les défauts propres à ce type de matériaux ainsi que leur synthèse. Le chapitre 13 présente les matériaux polymères en donnant aux thermoplastiques un traitement un peu plus délayé (relation structure – propriété, effet de la température, propriétés mécaniques). Les polymères thermodurcissables sont abordés plus brièvement avant une discussion rapide des questions de mise en forme et de recyclage. L'avant-dernier chapitre traite des matériaux composites en discutant les modes de renforcement et la mise en forme. Enfin, le dernier chapitre aborde les questions de corrosion et d'usure. Les réactions de corrosion sont introduites, la vitesse de corrosion, les courants de corrosion et de polarisation, etc. également avant de s'intéresser aux types de corrosion et donc à des aspects plus microstructuraux, avant de discuter des protections contre la corrosion. Enfin, la question de l'usure est très rapidement traitée en une section. Les annexes contiennent une liste de matériaux avec un certain nombre de propriétés physiques (structure cristalline, masse volumique, température de fusion, etc.), les rayons atomiques et ioniques de certains éléments et enfin un index et une classification périodique.

L'ensemble est agrémenté d'illustrations très claires, que ce soit sous forme de schémas ou de photos, qui rendent la lecture aisée et facilitent les explications. Chaque fin de

chapitre est suivie d'un glossaire concernant le thème traité, ce qui pourrait présenter une limite dès lors que l'on chercherait un terme sans en connaître le domaine de rattachement, ce qui, selon nous, pourrait être le cas du public cible. Un manque assez regrettable est une bibliographie : cet ouvrage est introductif et il aurait vraiment été bienvenu que les auteurs proposent des pistes d'approfondissement. En moyenne, à partir du chapitre 3, une dizaine d'exercices immédiatement suivis de leur solution agrémentent la lecture et permettent une application immédiate des concepts présentés (près de 140 en tout). Cette stratégie est payante pour l'étude. En revanche, on peut regretter qu'il n'y ait pas d'exercices de fin de chapitre et, qui plus est, nécessitant des traitements mathématiques moins élémentaires que ceux proposés. Enfin, la progression pédagogique d'ensemble n'est pas toujours évidente, notamment en ce qui concerne les diagrammes de phases et la microstructure qui ne sont pas traités de manière groupée et peuvent compliquer la compréhension de ces notions si essentielles.

Selon nous, tout livre est bon dès lors que son public est bien identifié. En l'occurrence, il nous paraît que les personnes intéressées par cet ouvrage sont les (élèves) techniciens ou ingénieurs non spécialisés en matériaux qui sont amenés à travailler avec des spécialistes du domaine. Il paraît difficile d'en recommander l'usage pour des formations spécialisées du supérieur, car si le nombre de notions abordées est très grand, la profondeur de traitement en souffre forcément. Pour l'enseignant de la discipline, il peut y avoir une vraie valeur ajoutée dans les exemples présentés, d'une très grande variété, et dans la possibilité d'une référence rapide concernant des notions avec lesquelles on ne serait pas familier. Enfin, pour un cours d'introduction générale de science des matériaux, cet ouvrage peut présenter une bonne référence.

Enfin, la traduction est globalement de bonne qualité même si l'on peut regretter ici ou là des choix terminologiques discutables (pour ne prendre que deux exemples : figure 6.11, une force est mesurée en MPa ; p. 231, une contrainte est en kN).

Marc Blétry
Université de Tours

Mathématiques pour les sciences de l'ingénieur : 120 fiches de cours, 120 exercices d'application, 580 exercices d'entraînement / sous la direction de Frédéric Bertrand, Myriam Maumy-Bertrand, Sandie Ferrigno, Didier Marx, Aurélie Muller-Gueudin et Yacoubou Rabba Idi. – 2e édition. – Malakoff : Dunod, 2019. – 564 p. – (Tout en fiches : le cours). – 1 vol. broché de 19,5 × 25 cm. – 29,50 €. – isbn 978-2-10-079103-3.

De nombreux ouvrages de mathématiques sont dédiés aux étudiants de premier cycle pour les préparer aux examens et autres concours d'ingénieurs. Comme nous le verrons, le livre que nous examinons ici ne manque pas d'intérêt si l'on en fait l'usage pour lequel il a été pensé.

La collection dont il fait partie vise à découper les contenus de matière en courtes sections appelées « fiches ». L'idée est sans doute de rythmer l'apprentissage ou la révision de la matière en conservant des volumes à mémoriser relativement digestes.

Dans notre cas, le livre propose quatre grandes parties intitulées « Algèbre », « Analyse », « Probabilités » et « Statistiques », assez équilibrées en termes de quantité, sur les quelque cinq cents pages qu'elles couvrent, même si les deux premières pèsent un peu plus que les deux suivantes. À cela s'ajoute une cinquantaine de pages dédiées aux solutions.

Au sein de chaque partie, les thèmes abordés s'enchaînent selon la logique assez classique de dépendance d'un sujet par rapport aux précédents, même s'il y a toujours matière à discussion sur la pertinence d'un choix d'ordre ou d'un autre.

En mentionnant les programmes de « Licence / Prépas / IUT », le public visé est explicitement français. Non qu'un étudiant ingénieur d'un autre pays francophone ne puisse pas y trouver un intérêt, mais l'approche utilisée n'est pas forcément adaptée à des cursus différents.

En ce qui concerne l'apparence, l'absence de couleur est compensée par l'utilisation de différents niveaux de gris, d'icônes, de graphiques sobres, d'une mise en page où les éléments de natures différentes (définitions, théorèmes, remarques, exemples...) se détachent très clairement les uns des autres.

Quant à son principe, il ne s'agit pas à proprement parler d'un livre de cours de mathématiques, puisqu'il ne contient pratiquement aucune preuve des théorèmes qu'il énonce. En outre le découpage en fiches aboutit à une table des matières ne faisant pas apparaître de hiérarchie dans les différentes parties, ce qui ne permet pas facilement de prendre du recul grâce à la perception d'une structure.

Chacune des cent vingt fiches constitue plutôt un résumé très efficace d'un pan de matière à travailler sur un laps de temps relativement court. On y trouve : une phrase ou un paragraphe d'introduction précisant l'objet du résumé et souvent son intérêt ; une série de définitions et théorèmes illustrés de brefs exemples ; une section « Application » qui met en œuvre les résultats précédents ; suivie d'une section « Pour s'entraîner » qui invite à la résolution de quelques exercices couvrant la matière de la fiche.

Ce déroulé systématique et simple donne au lecteur les points de repère dont il a besoin pour ordonner son travail de révision et sa pensée.

Après cette présentation, relevons les forces de cet ouvrage.

Tout en suivant le canevas général, chaque fiche est pensée de façon adaptée, avec une quantité d'informations textuelles, d'équations et d'illustrations correspondant aux besoins du sujet traité.

On appréciera le souci de proposer tant des applications et exercices théoriques que des exemples et problèmes tout à fait concrets dans de nombreux contextes des sciences et du métier d'ingénieur.

Pour la majorité des exercices, une solution est proposée en dernière partie. Ceux pour lesquels la solution n'est pas présente dans l'ouvrage, un corrigé est accessible en ligne sur le site de l'éditeur, parmi les « bonus web » qui contiennent aussi d'autres informations complémentaires, notamment pour la programmation en statistiques avec le langage R.

Cette approche permet sans doute de limiter le nombre de pages et donc de conserver un prix raisonnable sans laisser le lecteur démuni.

Des renvois vers d'autres fiches sont présents, par exemple lorsqu'une application fait appel à une notion présente dans un autre résumé. De cette façon, le lecteur ne doit pas chercher longtemps les éléments nécessaires à la compréhension du problème.

Le niveau des exercices et des applications est cohérent avec le type de l'ouvrage, qui se veut un outil d'aide à l'apprentissage et à la révision : on trouve des exercices d'application directe et des exercices demandant un peu plus de réflexion, mais on ne flirte pas avec des questions posées aux oraux d'entrée de certaines Grandes Écoles qui seraient plus ardues.

Quelques faiblesses cependant.

La grande quantité d'exemples, d'illustrations, d'exercices et de solutions a probablement limité les possibilités de relecture avant édition, ce qui conduit à quelques coquilles disséminées dans l'ouvrage : ici une faute d'orthographe, là une erreur dans une valeur numérique et ailleurs c'est un schéma qui n'est pas correct. Que le lecteur potentiel se rassure : cela reste des cas isolés.

Pour un livre récent, lié à des ressources en ligne, on regrette un peu que le lien vers les pages du site web ne se fasse pas à l'aide d'un petit QR code pour chaque exercice concerné, ce qui rendrait nettement plus accessible et fluide l'utilisation de ces ressources. C'est une méthode maintenant bien connue et employée par d'autres éditeurs.

En guise de conclusion, c'est bien sûr le type de manuels que l'on ne mettra pas entre toutes les mains, mais qui est parfaitement adapté au public qu'il vise et qui pourra se révéler un outil d'une grande aide, tant pour l'étudiant ingénieur qui peine à synthétiser de longs chapitres de cours et trouvera ici un découpage plus rassurant, que pour celui qui, à l'approche des examens ou des concours, souhaite reparcourir à un rythme raisonnable l'ensemble des notions de son cours de mathématiques de premier cycle universitaire.

Jean-Baptiste Coulaud
Haute école Louvain-en-Hainaut

Biologie

Petrignani (Bianca) - Clavarino (Giovanna) - Lemaitre (Bruno), *Immunologie-Exercices : qcm, questions de cours et problèmes résolus*. – Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2020. – 304 p. – 1 vol. broché de 16 × 24 cm. – 39,85 €. – isbn 978-2-88915-361-9.

Immunologie-exercices est un ouvrage de questions (QCMs, schémas à annoter...) et problèmes immunologiques résolus. Dans le domaine de l'immunologie, il semble combler un vide dans l'accompagnement de l'apprentissage en immunologie pour les étudiants en biologie et en médecine. Il est le résultat d'une collaboration entre l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et la Fondation Health Sciences e-Training Lausanne

(HSeT) dans le cadre d'un enseignement introductif à l'immunologie. Il sert d'accompagnement aux deux MOOCs, « Introduction à l'immunologie : aspects fondamentaux » et « Introduction à l'immunologie : méthodes et applications médicales », disponibles sur le web via les plateformes edX et Coursera.

Bianca Petrignani est assistante-doctorante en immunologie à l'EPFL alors que Giovanna Clavarino est maître de conférences-patricien hospitalier en immunologie au Centre hospitalier universitaire Grenoble Alpes. Bruno Lemaitre, enfin, est professeur d'immunologie à l'EPFL, spécialiste de la réponse immunitaire innée de la drosophile.

Ce livre de 302 pages s'adresse non seulement aux étudiants qui suivent le ou les deux MOOCs précités, mais aussi aux étudiants en biologie et médecine (niveaux Bachelor à Master), disciplines dans lesquelles l'immunologie constitue un élément central, souvent perçu comme difficile par son langage spécifique, mais aussi par son implication dans de nombreux processus pathologiques. Il s'organise en deux parties : la première (chap. 1 à 14) contient des QCMs, des annotations de schémas et des questions de cours qui permettent de réviser l'immunologie. La numérotation des chapitres correspond aux deux MOOCs précités dont les vidéos peuvent être utilisés comme support de cours. La seconde partie contient des problèmes tirés d'articles qui nécessitent de connaitre les méthodes de base en immunologie (présentées au chap. 9 de la partie I). La pratique de ces exercices permet de réviser le cours et d'aborder l'immunologie de manière plus approfondie. Une liste d'abréviations est disponible aux pages 11 et 12 du livre.

La partie I (révisions du cours) occupe près de 200 pages. Chaque thématique abordée s'articule toujours en trois types de questions : une série de questions à choix multiples sur les bases de la matière ; une série de schémas à annoter (ceux-ci sont clairs et esthétiques et, pour certains d'entre eux, les termes à positionner sont listés) ; enfin, des questions à réponse ouverte courte qui permettent au lecteur de vérifier plus en profondeur sa maitrise de l'immunologie.

Cette partie I est adaptée à tout étudiant suivant un cours d'immunologie de niveau Bachelor souhaitant vérifier sa maitrise des connaissances et son niveau de compréhension d'un cours d'introduction à l'immunologie.

La partie II, quant à elle, ravira les étudiants de niveau Master, puisqu'elle va surtout concerner des questions d'immunologie pratique en faisant intervenir les techniques d'immunologie qui sont utilisées dans des laboratoires de recherche. En avant-propos de ce chapitre, une remarque invite d'ailleurs le lecteur à lire attentivement les énoncés, les figures et leur légende, et à extraire les informations pertinentes pour pouvoir les décrire simplement et les interpréter.

Même s'il est initialement lié aux deux MOOCs d'introduction à l'immunologie, cet ouvrage constitue une source intéressante de questions/exercices permettant non seulement aux enseignants en immunologie d'apporter une certaine dynamique réflexive dans leur cours, mais aussi aux étudiants d'évaluer leurs connaissances dans cette matière, voire même d'aller plus loin si l'intérêt est présent.

En démontant une idée reçue concernant les cours de biologie en général souvent perçus comme des cours basés sur une « étude par cœur », cet ouvrage est adapté aux étudiants en baccalauréat en sciences paramédicales qui y trouveront des exercices d'entraînement de connaissances et de compréhension de l'immunologie essentiellement dans la partie I, qui constitue heureusement la majeure partie du livre.

Louis-Marie Vincent
Haute école Louvain-en-Hainaut

Sciences de la Terre

Lévêque (Christian), *Quelles rivières pour demain ? Réflexions sur l'écologie et la restauration des cours d'eau*. – Versailles : Éditions Quae, 2021. – 288 p. – 1 vol. relié de 16 × 24 cm. – 36,00 €. – isbn 978-2-7592-3319-9.

Cette nouvelle édition de l'ouvrage de C. Lévêque (2016) est une simple réédition du même document, ce qui démontre d'emblée son intérêt vu la rupture de stock. On notera toutefois de petites actualisations au chapitre 7, « Une biodiversité hybride », faisant référence à la fragmentation des habitats ; au chapitre11, « De la fragmentation des rivières à la reconquête de l'axe fluvial », se rapportant à la « gestion écologique des rivières françaises » et au chapitre 15, « Des changements en perspective ? Tendances, trajectoires, prospectives », faisant référence essentiellement au changement climatique.

Il n'empêche que l'analyse systémique de C. Lévêque soit comme toujours percutante et soulève bien des questions sur tous les aspects qui concernent nos rivières, de leur statut à leur fragmentation, leur restauration, leur bon état écologique tout en passant par leur biodiversité, leurs poisons (multiples pollutions), sans oublier de réfléchir aux changements en perspective pour terminer par un peu de prospective.

La multifonctionnalité des rivières dont une des premières visait à transformer les rivières en autoroutes fluviales puis à utiliser leur énergie (moulins à eau, barrages hydroélectriques...) tout en développant la pêche professionnelle et les usages récréatifs a conduit à de nombreuses conséquences négatives dont l'extinction des poissons grands migrateurs. Il en résulte que le fleuve naturel n'existe plus (plus d'état de référence pristine) et qu'après être passé du fleuve corrigé au fleuve aménagé, on tente actuellement tous azimuts de le restaurer, d'atteindre son bon état écologique, mais par rapport à quoi ?

En conclusion, il est indispensable de réfléchir aux trajectoires passées et futures des écosystèmes fluviatiles et de leur biodiversité selon une approche globale anthroposystèmique, tout en faisant appel aux principes de bonne gouvernance.

Un ouvrage qui intéressera non seulement tout étudiant, chercheur, professionnel de l'aménagement des zones humides continentales, mais aussi le commun des mortels curieux du devenir de nos rivières.

Jean-Claude Micha
Université de Namur

Sciences du vivant

HERVÉ (Maxime), *Systématique animale d'Aristote aux phylogénies moléculaires : histoire, concepts et méthodes de la classification*. – Louvain-la-Neuve : De Boeck supérieur, 2020. – 140 p. – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 20,00 €. – isbn 978-2-8073-2995-9.

Il s'agit d'une approche historique de la systématique animale dont l'objectif est plus particulièrement de lever les difficultés qui apparaissent autour des concepts et des méthodes sur lesquels elle s'appuie pour être le reflet correct de la réalité. Les caractères utilisés pour une approche systématique de l'énorme diversité animale sont divers : morphologiques, anatomiques, embryologiques, moléculaires, comportementaux, géographiques, écologiques… Ce type de travail implique de répondre à deux questions essentielles : quels caractères prendre en compte et quelle méthode utiliser pour construire la classification ?

Comme l'auteur l'explique avec clarté, jusqu'à la moitié du XVIIIe siècle, les classifications sont construites sur la seule base de la similarité morpho-anatomique et la vision anthropocentrée du vivant héritée d'Aristote imprègne profondément les sciences naturelles. Avec la révolution due à Charles Darwin et Alfred Russel Wallace, deux naturalistes britanniques, les relations de parenté entre espèces résultant de leur ascendance commune apparaissent. Trois écoles voient le jour : la systématique évolutionniste, la phénétique numérique et la cladistique. Pour les partisans de la systématique évolutionniste, un groupe naturel est un groupe qui a une ascendance commune directe et qui est homogène du point de vue de la similarité globale. La phénétique numérique ne tient pas compte de l'existence d'une ascendance commune ou non. Elle a en outre pour particularité que la similarité globale n'est pas estimée par intuition, mais par un traitement statistique et donc, vu la masse de données à traiter, les progrès de l'informatique seront une condition nécessaire à son émergence. La cladistique, quant à elle, rejette l'utilisation de la similarité et se base seulement sur les relations de parenté entre organismes.

La période allant des années 1960 à nos jours est celle de l'avènement des phylogénies moléculaires. Les protéines et les acides nucléiques sont porteurs d'une information historique et donc peuvent être utilisés pour établir des phylogénies. Ces phylogénies ont grandement bénéficié des progrès de la PCR (Polymérase Chain Reaction) qui permet d'amplifier une séquence d'ADN ou d'ARN. Différentes méthodes de reconstruction phylogénétique se sont développées : les unes s'appuyant directement sur les caractères ; les autres utilisant une distance évolutive. Une distance évolutive entre deux espèces est le produit d'un taux de changement évolutif par un temps écoulé depuis la séparation des deux lignées de leur ancêtre commun.

À la fin du dernier chapitre, à la question de savoir ce qui reste aujourd'hui des conceptions traditionnelles, l'auteur signale qu'un dernier vestige de celles-ci est probablement la hiérarchie linnéenne des rangs taxinomiques.

Dès le premier chapitre de ce livre, on apprécie à la fois la maîtrise du contexte historique et la finesse analytique de l'auteur. Il termine sa présentation en reconnaissant que les systématiciens, et plus particulièrement ceux du XIXe siècle, ont fait un travail remarquable qui reste en grande partie d'actualité. « Ce qui a été bouleversé n'est pas tellement

le contour des embranchements, mais les relations qui les unissent d'un point de vue historique ainsi que la manière de raconter cette histoire » (p. 113). Comme il existe actuellement des collections de phylogénies dont on essaye de dégager un consensus, la preuve d'une validité est, selon lui, « dans le consensus et pas dans l'affirmation personnelle ».

Pierre Devos
Université de Namur

Sciences paramédicales

El Khiari (Isabelle), *Pour un patient au cœur du soin. Les méthodes complémentaires à l'hôpital : quand l'aromathérapie, la réflexologie ou la relaxation vient en appui de la chimie* / avec la collaboration d'Ariane Puccini. – Paris : Fayard, 2021. – 304 p. – 1 vol. broché de 13,5 × 21 cm. – 19,00 €. – isbn 978-2-213-71025-9.

Isabelle El Khiari est infirmière clinicienne certifiée, détentrice d'un DU en aromathérapie clinique, conseillère en fleurs de Bach, détentrice d'un master en sophrologie Caycédienne et d'un DIU de soins palliatifs et d'accompagnement. Elle exerce ses compétences en tant que formatrice et consultante spécialisée dans les approches complémentaires en soins en autres au sein des hôpitaux Dupuytren et Georges Clémenceau (France). Son ouvrage, préfacé par Rosette Poletti, met en exergue les rôles de l'infirmière clinicienne, dont celui de « donner des réponses compétentes et créatives aux besoins des patients, leur permettant de vivre le mieux possible ce qu'ils ont à vivre » (p. 10).

C'est au travers de vignettes cliniques que l'auteur démontre en quoi les compétences de la clinicienne permettent de créer ce rapport confiant, respectueux et compétent qui donne naissance aux vrais « miracles » dans la vie des autres (p. 11). Chaque vignette clinique témoigne de l'apport des méthodes complémentaires que l'auteur a choisies en fonction de la spécificité de chaque situation, de chaque patient qu'elle caractérise par un nom de fleur pour préserver leur anonymat.

Forte de ses différentes formations, El Hkiari reprend le postulat d'Hippocrate, « *primum non nocere* » (p. 18), et nous présente une approche qui vient en complément de l'allopathie. Il n'y a pas de rejet de l'un pour l'autre : « la chimie est notre alliée au quotidien », mais que faire quand elle ne soulage plus (p. 16) ? Son ouvrage témoigne de son cheminement, de sa réflexion et de son raisonnement clinique pour chaque situation de soin. Chacune de ses interventions est discutée avec le médecin et le patient. Chaque prise en soin débute par un entretien qui lui permettra de connaitre l'histoire de la personne, d'exercer un jugement clinique et de proposer une intervention infirmière et de l'évaluer.

Son livre nous emmène vers le regard de l'infirmière clinicienne « et si, désormais, soigner n'était plus seulement calmer des symptômes, mais s'attaquer aux problématiques de fond chez le malade ? » (p. 21), car « la clinique infirmière s'attache au patient, aux moyens dont il dispose pour affronter la maladie. Hors du champ des prescriptions, elle va puiser dans les sciences humaines et sociales, pour saisir les ressources du patient et les obstacles qu'il doit affronter » (p. 25).

Les différents chapitres invitent à la rencontre de patients qui vivent une expérience de santé et face à laquelle les soignants sont démunis. Ses compétences lui permettent au gré des situations de proposer des interventions complémentaires qui n'ont pas l'ambition d'être de l'ordre du « miracle », mais qui, à un moment, pourront amener chez la personne une réponse à un problème.

À titre d'exemple une vignette nous invite à rencontrer M. C, 96 ans, souffrant de cancer de la vessie avec métastases et assailli par des angoisses non gérées par les anxiolytiques. Ce chapitre nous montrera comment la sophrologie, qui signifie « paix spirituelle » en grec et qui désigne une méthode de relaxation qui pourra, en plusieurs séances, aider M. C à diminuer et à supprimer ses crises d'angoisse pour décéder serein. Les principes sous-jacents à ses interventions sont étayés par différentes études montrant la base scientifique de cette approche tout en faisant le lien avec la « méditation de pleine conscience » en plein développement actuellement.

L'auteur nous partage ses compétences en matière d'olfactothérapie proposée à une patiente souffrant de schizophrénie paranoïaque étant dans le refus de soin. Pas à pas, elle va approcher cette patiente et se rendre compte de sa passion pour les fleurs et les parfums. Branche de l'aromathérapie, l'olfactothérapie, une « thérapie psychocorporelle reposant sur les pouvoirs des odeurs sur le subconscient, et sur les capacités à faire remonter à la surface des émotions responsables de blocage ou de mal-être » (p. 63), s'attache à favoriser, par des odeurs d'huiles essentielles, la réminiscence et à susciter des émotions positives pour agir sur des maux psychosomatiques (p. 65). Néanmoins, son utilisation exige des connaissances pointues sur les effets de chacune des huiles, mais aussi de leurs effets secondaires afin de ne pas « nuire » au patient.

Cet effet « nocebo » a amené chez l'auteur une réflexion à propos de l'effet placebo. Les neurosciences ont commencé à lever le voile sur les mécanismes de cet effet : le corps humain serait en mesure de produire lui-même des molécules qui peuvent le soulager, voire le guérir. Cependant, derrière la réponse positive au placebo, d'autres éléments entrent en ligne de compte dont l'influence du soignant. Ainsi, la force de persuasion du soignant pourrait être plus forte que la prescription elle-même (p. 81). La question éthique est également évoquée et l'auteur se positionne clairement contre le fait d'utiliser des cachets ne contenant aucune substance active. Par contre, proposer un traitement dont on doute de l'efficacité, mais qui est inoffensif lui semble acceptable. Pour elle, la dimension du soin doit considérer autant le corps que l'esprit et un questionnement sur la part de l'un et de l'autre dans une prise en soins.

Chaque situation amène un raisonnement clinique qui aboutit à la mise en évidence des problèmes prioritaires validés par le patient, ce qui permet à la clinicienne de proposer en accord avec celui-ci une intervention lui permettant de devenir acteur de sa santé. Mais elle ne dépasse jamais les limites de l'autonomie infirmière et, selon les situations, elle établit un partenariat avec le médecin pour obtenir la prescription de ses interventions. Son leadership et ses compétences en aromathérapie lui permettront d'obtenir une prescription pour de l'aromathérapie en voie orale. L'aromathérapie prend de plus en plus sa place à l'hôpital à travers des recommandations de bonnes pratiques (protocoles) permettant d'utiliser les huiles essentielles en toute sécurité.

Cet ouvrage s'adresse aux infirmiers, peu importe leur secteur d'activité, aux étudiants, aux médecins, patients et familles. Il nous invite à réfléchir sur le « cœur du soin » dans un système déshumanisé, la nécessité de passer du *cure* au *care*. L'auteur explique que le *care*, « prendre soin », et le *cure*, « plus centré sur la maladie », ne s'opposent pas (p. 148). Jean Watson parle de *caring* spécifiant que l'infirmière « prend soin de quelqu'un » en considérant le patient dans sa singularité (Hesbeen, 1997, cité par Elkhiari, p. 149) ; cet aspect pâtit d'une importante invisibilité (p. 150).

Ses interventions n'ont pas la prétention de guérir ou de trouver « la » solution, mais de donner une réponse à une expérience de santé à un moment donné, de proposer une intervention complémentaire étayée par de la littérature scientifique et en partenariat avec le patient et les professionnels de la santé qui l'entourent. L'auteur, grâce à son parcours, nous convainc qu'il est nécessaire d'aller au-delà des données biologiques pour comprendre ce qui est à l'œuvre dans la guérison du patient. Son ouvrage, par sa large bibliographie, permet à chacun d'aller plus loin dans la compréhension de l'apport des méthodes complémentaires.

Nathalie Descheemacker – Anne-Marie Sautois
Haute école Louvain-en-Hainaut

NANDA International (collectif de chercheurs), *Diagnostics infirmiers 2021-2023 : définitions et classification* / traduction par AFEDI, AQCSI. – 12e édition. – Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson, 2021. – 632 p. – 1 vol. broché de 14 × 21 cm. – 25,90 €. – isbn 978-2294-77519-2.

Les diagnostics infirmiers (DI) de NANDA-I sont utilisés dans la pratique pour permettre aux infirmier(e)s de communiquer et documenter leur jugement clinique. Pour ce faire une terminologie commune est essentielle à la visibilité de la discipline.

L'intérêt de la NANDA International réside dans le fait qu'elle est la seule à proposer « un langage infirmier standardisé [...] mis à jour avec les données infirmières probantes actuelles » (p. 112). C'est pour cette raison que tous les deux ans une nouvelle édition paraît.

La dernière édition a été dirigée par T. Heather Herdman, Shigemu Kamitsuru et Camila Takáo Lopes et traduite en français par l'AFEDI (Association francophone européenne des diagnostics, interventions et résultats infirmiers) et l'AQCSI (Association québécoise des classifications de soins infirmiers).

Le livre comporte 267 diagnostics infirmiers (DI) dont 46 nouveaux DI qui ont été approuvés et inclus dans cette nouvelle édition. Les personnes ayant soumis ces diagnostics proviennent du Brésil, d'Allemagne, d'Iran, du Mexique, d'Espagne, de la Turquie et des États-Unis.

Même si les auteurs expliquent très clairement que les diagnostics infirmiers de la taxonomie sont à positionner dans le champ légal de l'exercice de la profession et selon les compétences des infirmier(e)s, ils constituent un corps de connaissance qui permet l'élar-

gissement du champ d'exercice de la profession et de la recherche (pp. 47-48) à travers le monde (l'ouvrage est publié dans 20 langues).

Dans la troisième partie de l'ouvrage, l'utilisation des DI de NANDA I, notamment les bases du diagnostic infirmier, sont développées. Très concret, le *modèle à trois volets de la pratique des soins infirmiers* de S. Kamitsuru (p. 93) commente les types d'interventions réalisées par les infirmiers(e)s ainsi que les connaissances s'y rapportant.

Les éléments clés théoriques du raisonnement clinique, jugement clinique, démarche en soins infirmiers sont exposés au point 7 : « Le raisonnement clinique : de l'évaluation au diagnostic » (p. 117). La trame proposée pour l'évaluation structurée de la situation d'un patient est notamment celle des Modes fonctionnels de santé (MFS) de M. Gordon. Les auteurs nous invitent à utiliser les théories de soins infirmiers comme approche pour mieux comprendre l'expérience humaine et ainsi renforcer le processus holistique de l'évaluation infirmière (p. 125). Nous trouvons ensuite, au point 8 (p. 137), une application clinique qui nous aide à déterminer le diagnostic infirmier approprié à travers une analyse de données, permettant un lien théorie/pratique très facile.

La taxonomie II de NANDA-I est présentée à la page 157. Celle-ci permet aux lecteurs de retrouver une vue d'ensemble des treize domaines incluant les classes et, au sein de ces classes, les DI. Ces derniers comportent pour chacun d'eux *un cœur ou élément clé qui décrit la réaction humaine* (p. 186), base du jugement clinique infirmier.

Le classement des DI par domaines et par classes se retrouve pages 164-179.

Point positif du manuel, afin de faciliter notre compréhension lors de sa lecture et son utilisation, chaque concept/terme utilisé est défini.

Un autre élément important à signaler est la détermination du niveau de preuve (NP) de la soumission d'un diagnostic infirmier (p. 57) « incluant la marche à suivre dans le processus de soumission de nouveaux diagnostics infirmiers ». Cette partie reprend les critères de validité d'un diagnostic, qui dépend d'un processus de recherche, ainsi que les critères de classifications. À ce propos, en dessous de la plupart des DI développés à partir de la page 203, un lien hypertexte nous renvoie aux références bibliographiques utilisées : www.thieme.com/nanda-i.

Cet ouvrage reprend une terminologie normalisée qui soutient le professionnalisme et l'identité infirmière. Il est de ce fait un incontournable non seulement dans le domaine clinique infirmier, mais également dans celui de l'enseignement infirmier et ce dès la première année de formation.

Cécile Gaillet
Haute école Louvain-en-Hainaut

Sciences de l'homme

DEHAENE (Stanislas), *Face à face avec son cerveau*. – Paris : Éditions Odile Jacob, 2021. – 216 p. – 1 vol. broché de 25 × 18,5 cm. – 23,90 €. – isbn 978-2-7381-5702-7.

Voici un livre à lire absolument. En effet, il est exceptionnel à la fois par son contenu, innovant voire même révolutionnaire, et par sa présentation : chaque page de gauche est une illustration en couleur (photos et/ou dessins) de chaque page de droite, texte explicatif qui lui correspond. Son thème ne peut laisser personne indifférent : il s'agit, en effet, du cerveau humain et de « l'extraordinaire progrès des techniques d'exploration du cerveau et des avancées fulgurantes qu'elles ont permises dans la compréhension des liens entre le corps et l'esprit » (p. 7). Son auteur est un des plus brillants experts en la matière : mathématicien et psychologue, disciple de J.-P. Changeux, il est, depuis 2005, professeur au Collège de France et titulaire de la chaire de psychologie cognitive expérimentale. Il est, par ailleurs, le président du Conseil scientifique de l'Éducation nationale en France, depuis 2018. Un reproche pourrait cependant être fait à cet ouvrage : l'absence de structuration logique. En effet, pratiquement tous les textes (pages de droite) sont présentés sans lien explicite entre eux et tous sont mis au même niveau. Ceci complique, malheureusement, une lecture séquentielle du livre et une mémorisation de son contenu. *Face à face avec son cerveau* est une compilation très riche et détaillée. Seulement quelques points essentiels, regroupés ici selon des thématiques communes, sont repris ci-dessous.

Dans ce livre, le scientifique donne certains indices de la complexité du cerveau humain : il affirme ainsi que le nombre de synapses est estimé à 10^{15} (p. 39) et il écrit : « Chaque région du cortex possède une signature moléculaire distincte selon le nombre et le type de récepteur qui occupent ses différentes couches[1] » (p. 43). Selon la théorie qu'il a développée avec Jean-Pierre Changeux et Lionel Naccache, c'est un « espace de travail neuronal global » qui serait responsable de toutes les opérations dont nous avons « conscience ». Cet espace est un « ensemble de neurones distribués mais particulièrement dense dans les régions préfrontales et pariétales, dont les axones diffusent les informations globalement. L'embrasement d'un sous-ensemble de ces neurones constitue le code de la conscience[2] » (p. 173). Notre conscience est limitée, car cet espace de travail ne peut gérer qu'une seule représentation consciente à la fois.

À propos de la pensée et du fonctionnement du cerveau, voici ce que l'auteur écrit :

> « Les découvertes des neurosciences cognitives suggèrent qu'elle [la pensée] se réduit à un traitement de l'information à l'intérieur de notre cerveau. [...] Chacune de nos idées, qu'elle soit issue de nos organes des sens ou qu'elle germe de nos ruminations intérieures, correspond à un vecteur d'activité neuronale. [...] C'est en manipulant ces vecteurs, en les faisant tourner d'une région à l'autre, que notre cortex réalise des calculs et prend des décisions » (p. 57).

1. Le neurologue allemand Brodman distingue « six feuillets successifs de neurones » (p. 27).
2. *Le code de la conscience* est, par ailleurs, le titre d'un livre publié par Dehaene en 2014.

Et il précise encore :

> « Le codage vectoriel est un principe fondamental qui s'applique à de nombreuses régions du cortex, sinon toutes. Chaque neurone apporte sa petite pierre au code cérébral, chacun représente un vote pour une certaine représentation mentale — et c'est en les moyennant qu'on peut décoder les pensées en cours » (p. 81).

Dehaene donne plusieurs exemples passionnants de ce fonctionnement cérébral. C'est ainsi qu'il évoque le sens des mots qu'il qualifie de « massivement distribué » dans le cerveau. Il écrit, en effet : « chaque secteur du cortex répond à un petit nombre de mots qui appartiennent tous au même champ sémantique » (p. 61). Il signale aussi que « notre cerveau étale sur la surface du cortex, ses connaissances du monde extérieur » (p. 65). Il évoque encore l'aire MT, spécialisée dans la perception du mouvement (p. 67), et aussi deux catégories de cellules qui interviennent dans le sens de l'orientation : les cellules de grille — qui « cartographient l'espace avec des triangles » (p. 75) — et les cellules de lieu — qui résident dans l'hippocampe et reconnaissent des lieux particuliers (p. 77).

Parmi les caractéristiques de notre humanité, nous distinguant des autres primates, Dehaene met en exergue la capacité d'apprendre « plus vite, plus efficacement, et de façon plus abstraite » (p. 149) et le langage (avec sa double articulation[1]). Il explique que ce dernier repose sur l'hypertrophie du faisceau arqué, qui relie le cortex de l'aire de Broca[2] « à diverses régions du cortex temporal et pariétal »[3] (p. 161). Il note aussi la latéralisation des circuits « à l'un des deux hémisphères — typiquement, le langage à gauche et l'attention visuo-spatiale à droite » (p. 151). Une autre particularité fondamentale de l'espèce humaine épinglée par le psychologue cognitif est le relâchement de nos contraintes génétiques, « ce qui fait la part belle à l'empreinte de l'environnement et de l'éducation » (p. 153). Cette particularité se traduit par l'étendue de la plasticité du cerveau qui permet le « recyclage cérébral » — par exemple, pour l'apprentissage de la lecture (p. 155) ou l'apprentissage des mathématiques (p. 129). Et Dehaene poursuit : « C'est moins dans la taille du cerveau que dans son développement, dans l'organisation de ses circuits[4], et dans ses propriétés cellulaires et moléculaires qu'il faut désormais chercher l'origine de la singularité du cerveau » (p. 163).

Le livre s'achève par une affirmation lapidaire : « Une seule certitude s'impose : Mon cerveau, c'est moi[5] » (p. 195). Et l'auteur développe cette thèse matérialiste de la façon suivante :

1. Articulation en phonèmes [unité de son] et en monèmes [unité de sens].
2. Paul Broca est un médecin français qui, sur base de l'étude d'une lésion, a montré l'importance pour le langage de l'aire qui porte actuellement son nom (p. 23).
3. Voici ce que déclare Dehaene à ce propos : « La singularité humaine réside peut-être là — dans la faculté de recouper des informations disparates en les rassemblant en un seul lieu » (p. 161).
4. À ce sujet, l'auteur signale, que dès 2016, un « connectome » c'est-à-dire une carte complète des connexions cérébrales, avec les entrées et les sorties de chaque aire, a été produite (pp. 35 et 47).
5. Ceci contredit évidemment l'hypothèse de Descartes selon laquelle « l'âme humaine repose sur une "substance cogitante" radicalement distincte de la matière ordinaire » (p. 17).

> « Reconnaître notre condition d'homme neuronal est un acte libérateur. Oubliée l'inaccessible perfection divine qui écrase et culpabilise : nous ne sommes "que" l'héritage de centaines de millions d'années d'évolution et de plusieurs millénaires de culture. L'accepter est une leçon d'humilité, de tolérance et d'humour » (p. 194).

Et il s'explique :

> « Humilité donc car ce n'est pas nous qui décidons de notre équilibre neuronal ; tolérance, parce que ce qui accable les autres peut très bien nous arriver demain ; et humour, parce que, considérés avec l'œil du naturaliste, les comportements humains sont une inépuisable source d'amusement » (p. 195).

Marie d'Udekem-Gevers
Université de Namur

Pessiglione (Mathias), *Les vacances de Momo Sapiens : notre cerveau, entre raison et déraison*. – Paris : Éditions Odile Jacob, 2021. – 325 p. – 1 vol. broché de 14,5 × 22 cm. – 23,90 €. – isbn 978-2-7381-5174-2.

Le titre quelque peu accrocheur par son apparence humoristique est accompagné d'un sous-titre moins rieur : *notre cerveau entre raison et déraison*, sous lequel une illustration montre la représentation d'un cerveau sans son crâne surmonté d'une roulette, symbole classique d'un jeu de hasard.

Un mot sur l'auteur : Mathias Pessiglione est directeur de recherche à l'Institut du cerveau et de la moelle épinière à l'Hôpital de la Pitié-Salpêtrière à Paris (INSERM), biologiste et psychologue clinicien, docteur en science cognitive (2003, Université Pierre et Marie Curie, Paris). Il co-dirige l'équipe « Motivation, Cerveau et Comportement » dont les recherches portent sur les mécanismes cérébraux qui sont impliqués dans les processus décisionnels.

Un mot sur le titre. Dans une interview[1], Mathias Pessiglione explique : « Il faisait rire mes enfants ! Et puis, il traduit une certaine tendresse pour cet Homo sapiens qui tente, en vain, d'être raisonnable. Chaque chapitre s'ouvre sur une anecdote qui raconte une mésaventure d'un certain "Momo" qui part en vacances ».

Le prologue définit l'ambition de ce livre de 326 pages : *en quoi la science moderne a renouvelé cette question primordiale : nos décisions sont-elles rationnelles ?* Pour ce faire, une nouvelle discipline est née : la neuroéconomie appelée parfois science de la décision. Elle fait appel à trois experts : l'économiste, qui définit les critères de rationalité au niveau de l'individu (microéconomie) — quel choix doit-il faire pour maximiser son propre bien-être basé sur le système des récompenses ? —, le psychologue, qui montre à travers l'étude de situations expérimentales proposées à des volontaires que ces critères ne sont pas nécessairement respectés dans la réalité, et le neuroscientifique, qui essaie d'expliquer pour-

1. https://www.rtbf.be/auvio/embed/internal/media?id=2762537&autoplay=1

quoi en étudiant l'organe qui est supposé présider à la prise de décision, à savoir le cerveau. L'avènement de la neuro-imagerie fonctionnelle a permis des avancées inimaginables avant elle dans l'illustration imagée du fonctionnement cérébral notamment au cours des expérimentations mentionnées ci-dessus chez des volontaires sains et aussi parfois chez des porteurs de pathologies caractéristiques de certains symptômes comme la maladie de Parkinson ou l'autisme. Suivent 6 chapitres qui étudient chacun un aspect particulier du processus décisionnel en renvoyant soit à une partie du cerveau anatomique, soit à un agent chimique (neuromodulateur). Chaque fois le propos est illustré par la description claire d'un protocole expérimental et par des commentaires sur les résultats.

Chap. 1 : « Quand l'inconscient s'en mêle ou le rôle du Striatum » (appelé aussi corps strié), partie du cerveau situé au niveau intérieur sous-cortical bilatéral où on situe la régulation des motivations et des impulsions. L'inconscient évoqué ici n'est pas celui de Freud impliquant moi et surmoi, mais définit ce qu'on ne peut rapporter ou expliquer ni verbalement ni autrement.

Chap. 2 : « Conditionné comme une bête » (par la dopamine). L'auteur commence par préciser que la dopamine n'est pas l'hormone du plaisir telle que décrite dans les magazines. De plus, elle n'est pas une hormone (du moins au niveau cérébral), mais un neuromodulateur et elle ne produit par elle-même aucun plaisir même si elle constitue un premier indice prédicteur de récompense. La dopamine en fait stimule la recherche de récompenses, elle influence donc le comportement avec les conséquences positives ou négatives que cela peut induire.

Chap. 3 : « Des valeurs fabriquées » (dans le cortex orbitofrontal). Dans cette partie, il est question des valeurs au sens du bénéfice (ou de l'utilité) espéré. Certaines valeurs sont inscrites dans la mémoire comme un dessert préféré qu'on découvre sur un menu, mais le plus souvent, il est nécessaire d'établir une échelle de valeurs pour faire son choix. On évoque ici la notion de monnaie neuronale qui attribue donc une valeur qui va décider du meilleur choix. Le choix est plus facile si les différences de valeurs sont importantes et inversement si elles sont proches.

Chap. 4 : « L'empire des émotions » (sous le règne d'Amygdale et d'Insula). Cet aspect dans la question du choix est abordé via l'attitude face au risque. Expérimentalement, on peut montrer que l'aversion du risque est deux fois plus importante en influence que l'attrait de la récompense. Expérimentalement, les participants préfèrent l'option certaine dans le domaine des gains (un tien vaut mieux que deux tu l'auras !) et l'option risquée dans le domaine des pertes (quitte à perdre le double, je risque).

Chap. 5 : « Un patron défaillant » (cortex préfrontal latéral). Le comportement naturel est fait en partie d'automatisme acquis au cours de l'évolution de l'espèce comme fuir en réaction à la peur. Néanmoins, il existe, heureusement, aussi une possibilité de contrôle des réactions émotionnelles : cette fonction est appelée contrôle cognitif (ou parfois exécutif). Ainsi, il existe deux systèmes : le premier rapide, simple et émotionnel, le second lent, logique et fastidieux.

Chap. 6 : « Le poids des autres » (et du cerveau social). Avons-nous un cerveau social ? Il paraît assez évident que beaucoup de décisions sont influencées par le contexte social

dans lequel elles sont prises. La tendance générale est d'essayer d'imaginer ou d'anticiper les réactions des autres aux choix possibles que l'on va devoir faire et, par conséquent, le choix effectué est influencé par cette évaluation.

Épilogue : « Y a-t-il un pilote dans mon crâne ? ». Au départ, le rôle d'investigateur a été confié à trois experts : le neuroéconomiste, le neuropsychologue et le neuroscientifique. L'auteur prévient d'emblée que quels que soient les acquis des uns et des autres, ils ne seront que temporaires et remis en question par de nouvelles recherches et découvertes selon les possibilités techniques. Les experts, recrutés au début, ont-ils trouvé leur content à la fin ? Pour le savoir, le mieux est de lire le livre, qui devait plaire à ceux qui s'intéressent au fonctionnement du cerveau, tout comme à ceux qui sont préoccupés par le chemin intracérébral des mécanismes de la décision. Le support humoristique de l'introduction de chaque chapitre par une anecdote des vacances de Momo illustre concrètement le phénomène qui va être étudié dans cette partie de l'ouvrage.

Albert Fox
Université de Namur

Ouvrages reçus à la rédaction

Découvertes et inventions scientifiques dans la Chine antique / compilation par le Musée des Sciences et des technologies de Chine. – Les Ulis : edp sciences, 2021. – 192 p. – 1 vol. broché de 21 × 29 cm. – 29,00 €. – isbn 2759825051.

The Oxford Handbook of the History of Modern Cosmology / edited by Helge Kragh and Malcolm S. Longair. – Oxford : Oxford University Press, 2019. – 640 p. – 1 vol. électronique. – 96.78 €. – isbn 978-0-19-254997-6.

Orthodox Christianity and Modern Science : Theological, Philosophical, Scientific and Historical Aspects of the Dialogue / edited by Christopher Knight and Alexei Nesteruk. – Turnhout : Brepols, 2021. – 186 p. – 1 vol. relié de 16 × 24 cm. – 80,00 €. – isbn 978-2-503-59267-1.

Overlapping Cosmologies in Asia : Transcultural and Interdisciplinary Approaches / edited by Bill M. Mak and Eric Huntington. – Leyde : Brill, 2022. – xviii + 297 p. – 1 vol. relié de 16 × 24 cm. – 29,95 €. – isbn 978-90-04-51141-5.

The Oxford Handbook of the History of Quantum Interpretations / edited by Olival Freire Jr, Assistant Editors : Guido Bacciagaluppi, Olivier Darrigol, Thiago Hartz, Christian Joas, Alexei Kojevnikov and Osvaldo Pessoa Jr. – New-York : Oxford University Press, 2022. – xiv + 1295 p. – 1 vol. relié de 17,5 × 25 cm. – 145,00 £. – isbn 978-0-19-884449-5.

Al-Khalili (Jim), *The Joy of Science*. – Princeton : Princeton University Press, 2022. – 224 p. – 16,95 $. – isbn 978-0-691-21157-2.

Andris (Jean) - Rombouts (Jean-Jacques), *Une histoire de la Société belge d'orthopédie*. – Wetteren : Universa Press, 2021. – 233 p. – 1 vol. relié de 21,50 × 30 cm. – 60 €. – isbn 978-9-062-810505.

Arthur (Richard T. W.), *Leibniz on Time, Space, and Relativity*. – New-York : Oxford University Press, 2021. – xvi + 404 p. – 1 vol. relié de 16 × 24 cm. – 105,00 $ Us. – isbn 978-0-19-284907-6.

Licence : CC BY-NC-ND 2.0 BE
Diffusion autorisée — Pas de modification — Pas d'utilisation commerciale

Castellana (Mario), *Il dibattito in area francofona sul pensiero matematico e Kurt Gödel*. – Roma : Studium, 2021. – 278 p. – 7,99 €. – isbn 978-88-382-5150-4 (version électronique).

Choulli (Mourad), *Analyse fonctionnelle : cours et exercices corrigés. Licence 3 & Master 1, Écoles d'ingénieurs*. – Louvain-la-Neuve : De Boeck supérieur, 2022. – 208 p. – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 24,90 €. – isbn 978-2-8073-3492-2.

Couturat (Louis), *The History of Modern Symbolic Logic and Other French Manuscript* / edited by Oliver Schlaudt and Anne-Francoise Schmid. – Bâle : Birkhäuser, 2021. – 406 p. – 35,98 $ US. – isbn 978-3-030-84828-6 (version électronique).

Delamarche (Paul) - Carré (François), *Activités physiques adaptées et pathologies chroniques : prévention, prescription, prise en charge*. – Paris : Elsevier Masson, 2021. – xii + 257 p. – 1 vol. broché de 13,5 × 21 cm. – 39,20 €. – isbn 978-2-294-77133-0.

Demoule (Jean-Paul), *Homo Migrans : de la sortie d'Afrique au Grand Confinement*. – Paris : Payot, 2022. – 432 p. – 1 vol. broché de 15 × 23 cm. – 23,00 €. – isbn 978-2-228-93026-0.

Dolan (Marion), *Decoding Astronomy in Art and Architecture*. – Cham : Springer International Publishing, 2021. – xiii + 343 p. – 24,27 $ US. – isbn 978-3-030-76511-8 (version électronique).

Drahos (Alexis), *Art & médecine*. – Paris : Éditions Citadelles & Mazenod, 2022. – 352 p. – 1 vol. relié sous coffret illustré de 25 × 33 cm. – 179 €. – isbn 978-2-85088-889-2.

Duhem (Pierre), *Realtà e rappresentazione : alle origini della « Théorie physique ». Scritti 1892-1896*. – Roma : Aracne, 2022. – 603 p. – (Duhemiana ; 4). – 1 vol. broché de 14 × 21 cm. – 32 €. – isbn 979-12-5994-509-9.

Gagnon (Claude), *François Béroalde de Verville alias Nicolas Flamel, l'invention du « Livre des figures hiéroglyphiques »*. – [s. l.] : Les presses philosophiques, 2021. – 275 p. – 1 vol. broché de 15 × 23 cm. – 28 $. – isbn 978-2-89590-430-4.

Grégoras (Nicéphore) - Argyre (Isaac), *Deux traités byzantins de construction de l'astrolabe* / texte établi et traduit par Claude Jarry. – Paris : Les Belles Lettres, 2021. – xviii + 185 p. – (Collection des Universités de France : Série grecque ; 562). – 1 vol. broché de 12 × 19 cm. – 59,00 €. – isbn 978-2-251-00646-8.

Guidry (Mike) - Sun (Yang), *Symmetry, Broken Symmetry, and Topology in Modern Physics : A First Course*. – Cambridge : Cambridge University Press, 2022. – xxxii + 632 p. – 1 vol. relié de 19 × 25 cm. – 79,99 $ US. – isbn 978-1-316-51861-8.

Levêque (Christian), *Érosion de la biodiversité : enjeux et débats*. – Londres : ISTE éditions, 2022. – 272 p. – 54,00 €. – isbn 978-1784058364 (version électronique).

Liao (S. Matthew), *Ethics of Artificial Intelligence*. – New-York : Oxford University Press, 2020. – xiii + 525 p. – 1 vol. broché de 15,5 × 23 cm. – £ 84,00. – isbn 978-0-19-090504-0.

COMITÉ INTERNATIONAL (EN RECOMPOSITION) :

D. Lambert (Université de Namur)
G. E. Reyes (Université de Montréal)
J.-P. Luminet (Observatoire de Paris-Meudon)
Fr. Boitel (UMPC - Sorbonne)

COMITÉ DE RÉDACTION :

Astronomie : J.-R. Roy
Mathématique et informatique : J. Dhombres – J. Mawhin – M. Willem
Physique : J.-P. Antoine – Y. De Rop
Biologie : P. Devos
Médecine : NN.
Histoire des sciences : G. Iommi Amunátegui – B. Van Tiggelen
Philosophie des sciences : B. Hespel – D. Lambert

CONDITIONS D'ABONNEMENT (2022, VOL. 193)

L'abonnement est annuel, à partir de janvier, et court jusqu'à ordre contraire.
Depuis le 1er juillet 2020 - «Régime particulier de franchise des petites entreprises»
Aucune TVA ne peut être portée en compte aux clients.

En Belgique et au Luxembourg	51,89 €
abonnement de soutien	150,00 €
abonnement étudiant	30,00 €
Pour la France	61,33 €
Pour les autres pays	75,48 €
Prix au numéro trimestriel	20,00 à 30,00 €
Pour paiement par chèque	ajouter 35,00 €

SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES :

61, rue de Bruxelles – 5000 Namur – Belgique

Bpost banque SA

Rue du Marquis, 1, boîte 2 – 1000 Bruxelles

BIC : BPOTBEB1

IBAN : BE62 0004 7076 6561

TVA : BE 0407 654 574

Revue publiée avec l'aide financière

- de la Haute école Louvain-en-Hainaut
- de l'institut ESPHIN de l'Université de Namur

HELHa
Haute École Louvain en Hainaut

BELGE SCIENCES
PLURIDISCIPLINAIRE
PHILOSOPHIE
HISTOIRE

FRANCOPHONE

HAUTE VULGARISATION
ACCESSIBLE
INFORMATIONS VALIDÉES
SCIENTIFIQUE

esphin
Espace philosophique de Namur

Revue des

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

ISSN 0035-2160

Actualité, histoire et philosophie des sciences

Tome 193 - 2022 - N°1-2

www.rqs.be

CE NUMÉRO : 30 €

shutterstock.com